المملكـــة العربيـــة الســـعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



الاتصالات

أساسيات الاتصالات

١٣١ تصل





مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي؛ لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " أساسيات الاتصالات " لمتدربي تخصص " الاتصالات " للكليات التقنية على موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا البرنامج.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه، إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

بسم الله الرحمن الرحيم

إن الاتصالات تصنع تاريخ الإنسانية في هذه الحقبة التي نعيشها وبمعدل يفوق التصور. إن التقدم الهائل لتكنولوجية الاتصالات حولت العالم إلى قرية صغيرة, حيث أصبح الخبر الذي كان يستغرق نقله من قارة لأخرى شهوراً, أصبح ينقل الآن أثناء وقوعه في التو واللحظة. احتاج خبر وفاة نابليون بونابرت في جزيرة سنت هيلانة عام ١٨٢١م إلى شهر كامل ليصل إلى أوروبا.

ثورة الاتصالات التي نعيشها نتاج إنساني لكنها تميزت وستتغير ببيئة الإنسان بمعدل ١٨٠ درجة في كل المجالات: من البحث العلمي إلى الحروب ومن التعليم إلى الاقتصاد.

أصبح في مقدور مستشفى في الرياض أن يجري عملية جراحية لمريض بمشاركة وإشراف أشهر بروفيسور في هيوستن بالولايات المتحدة الأمريكية, ولم تعد هناك ضرورة لنقل ذلك المريض إلى هناك, فالطب الاتصالي, أصبح فرعاً من تخصصات الطب الحديثة. والمعارك العسكرية التي وقعت في أرض العراق, أو على سماء صربيا أديرت من بعد يزيد عن ١٥ ألف كيلو متر في الولايات المتحدة الأمريكية, بل إن جنود المشاة أو طاقم الدبابة المقاتلة: يتصل مباشرة عبر الأقمار الصناعية بقيادته المباشرة أو المركزية التي يمكن أن تقع في أي نقطة في المعمورة.

والمدرسة بمفهومها التقليدي: طلاب وفصل ودرس على وشك أن تصبح جزءاً من التاريخ. عصر المعلومات الذي أحدثته ثورة الاتصالات يزيح المدرسة عن عرشها التقليدي كمصدر أول للمعرفة, ويحول العالم كله إلى مدرسة واحدة لتبادل المعارف والخبرات والمعلومات, بل إن الكتاب الورقي الذي يمثل عماد العملية التعليمية والثقافية منذ اختراع جوتنبرغ للمطبعة في القرن الخامس عشر لن يصمد أكثر من عقد أمام الكتاب الإلكتروني.

وفي عالم الاقتصاد بدأت تتشكل ملامح ما يسمى بالاقتصاد الرقمي (Digital Economy) القائم على تقنية الاتصال. فإحصاءات برنامج الأمم المتحدة للتجارة والتنمية (الانتكاد) تشير إلى أن قيمة المعادلات التجارية والاقتصادية الإلكترونية بلغت ١٢٠٠ مليار دولار في عام ٢٠٠٠ أي أنها زادت بمعدل ١٢٣٤٪ خلال سبع سنوات التي سبقت عام ٢٠٠٠ وهي مدة لا تساوي شيئاً في عمر التاريخ وهي في ازدياد رهيب.

وفي عالم المعاملات اليومية للمواطن والمقيم في المملكة العربية السعودية مع الجهات الحكومية تم استحداث ما يسمى "الاستمارة الذكية" حيث يتم تحويل "حقوق" المعاملات عن طريق الصرافة الآلية

مباشرة إلى الجهات المعنية مما يساعد هذه الجهات على تقديم خدمات سريعة للأشخاص مما يجنبهم الطوابير الطويلة وهذا كله نتيجة تقدم الاتصالات واستغلال الجانب الإيجابي منها.

أعتقد أن السؤال الذي يطرح نفسه بالرغم من التقدم الهائل والخدمات الرائعة التي يقدمها ميدان الاتصالات البشرية هو : ما هي الآفاق المستقبلية للاتصالات اللاسلكية؟ لا شك أن الأبحاث جارية والنتائج ستكون مدهشة لأن هناك أفكار جديدة مطروحة الآن, فالهواتف الجوالة على سبيل المثال يمكن تزويدها بخدمة تحديد مواقع شبيهة بـ GPS وهذا بكل بساطة يعني انتهاء مشاكل الضياع في الشوارع بالنسبة للصغار والكبار على حد سواء لأنه يمكن الحصول على خرائط آنية للطريق بين نقطتين. كذلك يمكن استخدام هذه الخدمة من أجل ملاحقة الأطفال في الشارع من طرف أسرهم وتسليط عليهم المراقبة والمتابعة من حيث لا يدرون.

كما سيتم تطوير تقنيات تستخدم المستشعرات اللاسلكية (Sensors) لمتابعة نشاطات أجسام المرضى وكبار السن, وإرسال تنبيهات لاسلكية فورية لمراكز الإسعاف عند حصول أي طارئ.

نحن إذن إزاء عالم جديد يعاد تشكيله بسرعة فائقة غير مسبوقة في التاريخ ومن ثم لا يكفي أن نأخذ موقف المتفرج المستهلك في هذا العالم بل المشارك والفاعل والخطوة الأولى لتحقيق ذلك أن نفهم صيرورة التغيير السريع في هذا العالم وهذا لن يتحقق إلا بواسطة العمل الجاد و المتواصل لقوله عز وجل "وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون" وكذلك إتقان العمل لقول الحبيب المصطفى صلى الله عليه وسلم "إن الله يحب أحدكم إذا عمل عملاً أن يتقنه".

من خلال هذه الحقيبة المنهجية الموجهة إلى طلبة كليات الاتصالات بالمملكة العربية السعودية نقدم مقرر أساسيات الاتصالات بأسلوب مبسط ومنهجي مع مراعاة التوضيحات اللازمة من خلال اتباع طريقة إعطاء أمثلة كل بند وهذا يساعد المتدرب بشكل إيجابي على استيعاب هذا المقرر بإذن الله وكذلك اللجوء إلى الأشكال لتقريب المدلول أكثر مع تبيان الميدان التطبيقى وذلك لإجراء الربط بين ما يعطى في المحاضرات والواقع.

تتضمن الحقيبة خمسة فصول. يقدم الفصل الأول منها مدخلاً إلى الاتصالات الإلكترونية, ثم يعطي الفصل الثاني والثالث التضمين السعة (الاتساع) استقبال وإرسال. أما الفصل الرابع يتناول الأنظمة المختلفة لتضمين السعة التضمين الزاري. ونختم هذه الحقيبة بالفصل الخامس الذي يشمل تضمين التردد وتضمين الطور.

بالإضافة إلى الأمثلة المحلولة خلال كل وحدة من وحدات هذه الحقيبة , هناك تمارين في نهاية كل وحدة أعدت بطريقة منهجية تغطي بصورة شاملة محتوى كل فصل والتي بدون شك أنها ستعزز فهم المتدرب للموضوعات النظرية المطروحة. والله نسأل أن يكون هذا الجهد منفعة لأبناء المسلمين وقوة لهم .



المملكــة العربيــة الســعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

أساسيات الاتصالات

مدخل إلى الاتصالات الإلكترونية

مدخل إلى الاتصالات الإلكترونية

١

الوحدة الاولى : مدخل إلى الاتصالات الإلكترونية

Introduction to Electronic Communications

- **الهدف**
- **عند نهاية هذه الوحدة باستطاعة المتدرب معرفة :**

أ - معنى الاتصالات الإلكترونية.

ب - معنى التضمين وكاشف التضمين

ج - أهمية عملية التضمين في الاتصالات الحديثة.

د - الفرق بين عرض نطاق إشارة المعلومات وعرض نطاق قناة الإرسال أو قناة النقل.

هـ - تطبيقات مختلف أنماط الإرسال.

و - التشويش وأقسام التشويش ومختلف الأمثلة على كل قسم.

ز - سلسلة فوربيه لإيجاد دالة دورية للجهد.

- **محتوى هذه الوحدة :**

١ -١ مقدمة.

١ -٢ التضمين وكشف التضمين.

١ -٣ الطيف الكهرومغناطيسي.

١ -٤ عرض النطاق.

١ -٥ أنماط الإرسال.

١ -٦ التشويش.

١ -٧ تحليل ترددات الطيف.

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : 10 ساعات

١-١ مقدمة Introduction

الاتصالات الإلكترونية هي عبارة عن عملية إرسال, واستقبال ومعالجة الإشارة بين محطتين أو أكثر وذلك باستعمال الدوائر الإلكترونية. إن إشارة المعلومات يمكن أن تأخذ إحدى الصيغتين إما إشارة تماثلية (مستمرة) أو إشارة رقمية (متقعطعة).

أ تاريخ الاتصالات Historical Review

- في سنة ١٨٣٧م استطاع مورس أن يطور أول نظام للاتصالات الإلكترونية.
- في سنة ١٨٧٦م تم ولأول مرة في التاريخ نقل صوت الإنسان عبر الأسلاك الكهربائية من طرف جراهام بل وتوماس.
- في سنة ١٨٩٤م بدأت الاتصالات باستخدام موجات الراديو.
- في سنة ١٩٢٠م بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات AM.
- في سنة ١٩٣٣م اكتشفت موجات FM.
- في سنة ١٩٣٦م بدأ البث الإذاعي باستخدام موجات FM.

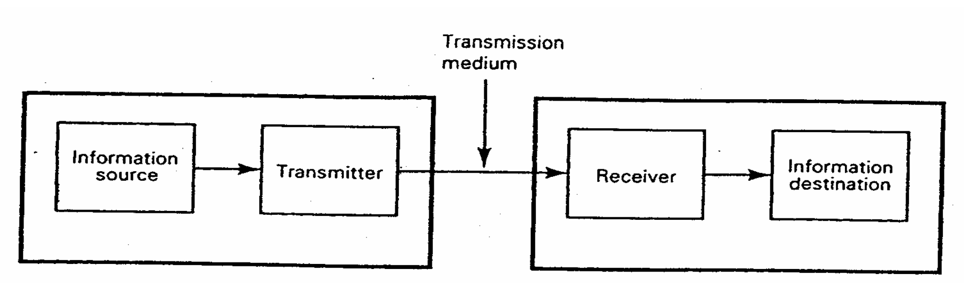
وبعد أن تم اكتشاف أشباه الموصلات التي أحدثت تقدماً هائلاً في عالم الاتصالات بفضل صناعة الشرائح الإلكترونية الدقيقة والمتناهية في الصغر والتي سمحت لأنظمة الاتصالات الإلكترونية المتطورة والتي تشمل أنظمة رقمية, وأنظمة الميكروويف, والأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات الضوئية باستعمال الألياف بأن تحول العالم إلى قرية صغيرة.

و يمكن تصنيف أنظمة الاتصالات الإلكترونية إلى نوعين:

نظام الاتصالات التماثلية Analog Communications System هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث ترسل الطاقة وتستقبل على شكل مستمر.

- نظام الاتصالات الرقمية: هو عبارة عن نظام إلكتروني حيث الطاقة ترسل وتستقبل على شكل مستويات متقطعة مثل +5V والأرضي.

مهما كان نوع نظام الاتصالات فإنه يتشكل من العناصر التالية: منبع لإشارة المعلومات, وقسم الإرسال (المرسل), والوسط الناقل (والذي بدوره ينقسم إلى قسمين سلكي ولا سلكي), وقسم الاستقبال (المستقبل). الشكل 1-1 يوضح الأجزاء الرئيسة لأي نظام اتصالات.



الشكل 1-1 يوضح العناصر الأساسية لنظام الاتصالات

١-٢ التضمين وكشف التضمين

إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر الوسط الناقل (قنوات الاتصال المتاحة) ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتضمين حيث تستعمل إشارة النطاق الترددي الأساسي (إشارة ذات تردد ضعيف) لتعديل بعض خصائص الموجة الحاملة العالية التردد.

وهذه الموجة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجبة عالية التردد والتي تولد من طرق المذبذب الموضعي والمتواجد في قسم الإرسال. والمذبذب هو عبارة عن دائرة إلكترونية والتي تنتج موجة ذبذبات عند الخرج والتي تغذي فقط عند الدخل بواسطة جهد مستمر.

تستعمل إشارة المعلومات والتي يطلق عليها إشارة التضمين في تعديل التردد أو الطور. ولهذا يمكن أن نقول أن هناك ثلاثة أنواع من التضمين وهي:

١ - تضمين السعة (AM) : وهو عبارة عن تغير سعة أو اتساع الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع إشارة التضمين أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تضمين السعة (Amplitude Modulation).

٢ - تضمين التردد **(FM)** هو عبارة عن تغير تردد الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع التغيير الذي يطرأ على إشارة التضمين أما الموجة الناتجة تدعى موجة تضمين التردد **(Frequency Modulation)**.

٣ - تضمين الطور **(PM)** وهو عبارة عن تغير في طور الموجة الحاملة بواسطة إشارة التضمين بمقدار يتناسب مع التغيير الحاصل في إشارة التضمين نفسها أما الموجة الناتجة فتدعى موجة تضمين الطور **(Phase Modulation)**.

أما عملية كشف التضمين أو ما يسمى كذلك بإزالة التضمين هي عبارة عن عملية استخلاص إشارة المعلومات (إشارة التضمين أو إشارة النطاق الأساسي الأصلية) من الموجة الحاملة.

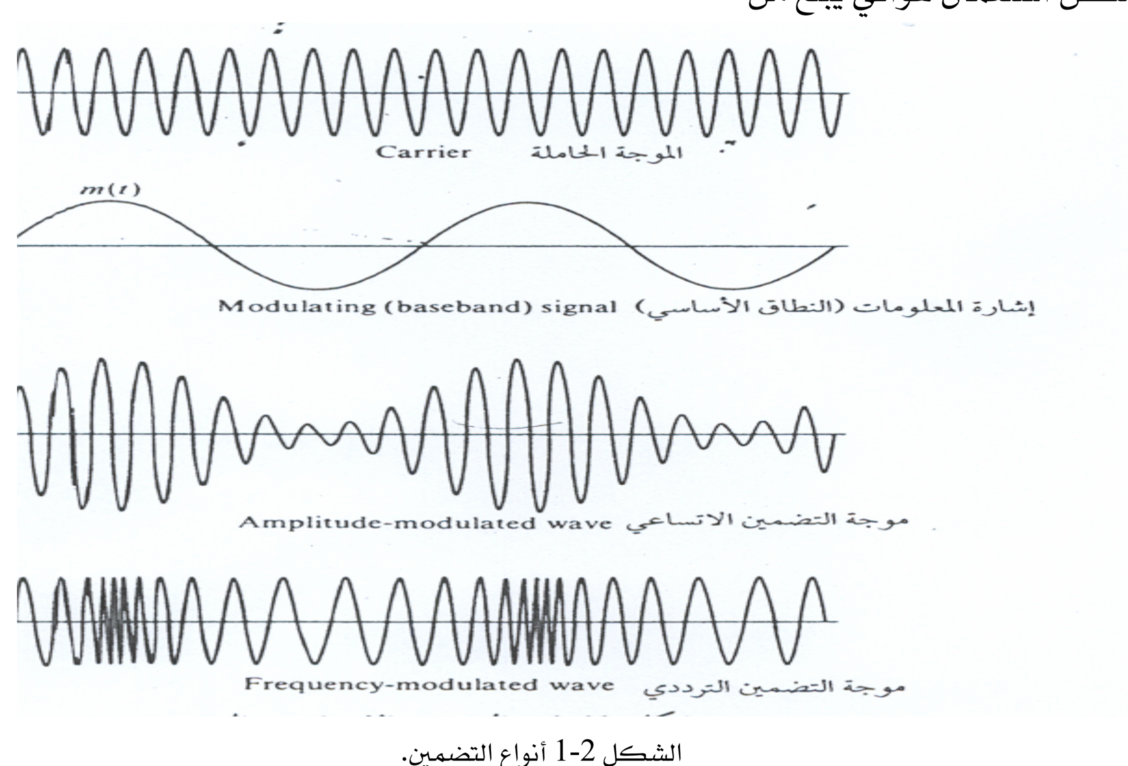
نود التنبيه على أن عملية التضمين تتم في قسم الإرسال أما الإشارة الناتجة من عملية التضمين والتي يمكن أن يطلق عليها الموجة المضمنة **(modulated wave)** ويمكن أن تكون إحدى الأنواع الثلاثة التي

سبق ذكرها فإما أن تأخذ صيغة AM أو FM أو PM حسب طبيعة التضمين الذي تم في قسم الإرسال. أما الإشارة التي تخرج من قسم الاستقبال فهي تدعى الإشارة المستخلصة (Demodulated Signal)..كما هو موضح في الشكل 2-1

هناك سؤال مهم جداً يطرح نفسه ويطرحه كل قارئ لماذا عملية التضمين ؟ وهل هي عملية ضرورية في الاتصالات ؟ وهل يمكن الاستغناء عنها ؟ للإجابة على هذا السؤال سوف نناقش بعض الأسباب المهمة لعملية التضمين وهي:

أ - سهولة الإشعاع Ease of Radiation

لكي يتم بث الموجات المغناطيسية بكفاءة فإن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود ١٠٪ من طول موجة الإشارة المرسلة. وبالنسبة لكثير من إشارات النطاق الترددي الأساسي (إشارات المعلومات) فإن أطوال الموجات تكون كبيرة جداً لدرجة أن أبعاد الهوائيات المطلوبة تتجاوز الأرقام المعقولة. وكمثال فإن موجة الصوت تتركز في الترددات بين 100 هيرتز و 3000 هرتز, أي إن أطوال موجاتها تتراوح بين 100كم و3000 كلم على الترتيب مما يستدعي هوائيات ذات أطوال غير عملية (في حدود 10 كم إلى 300 كم). وبدلاً عن ذلك يتم تضمين الموجة الحاملة العالية التردد ذات طول موجي صغير مما يتطلب استعمال هوائيات عملية ذات أقل تكلفة. وبذلك يتم بث الموجة المغناطيسية التي تحمل إشارة المعلومات بكفاءة عالية. وكمثال فلو كان تردد الموجة الحاملة100 جيجاهرتز لكان الطول الموجي لها 300سم, وبالتالي يمكن استعمال هوائي يبلغ من



الشكل 2-1 أنواع التضمين.

الطول 30سم. ومن هذه الناحية فإن عملية التضمين تشبه حمل إشارة التردد الأساسي فوق موجة جيبية عالية التردد (الحامل). ويمكن تشبيه الموجة الحاملة وإشارة المعلومات بقلم وورقة: فلو أردنا أن نرمي الورقة بحالها فلن تذهب بعيداً, ولكن لو لففنا الورقة حول القلم, فإننا نستطيع أن نرميها إلى مسافة أطول.

ب - النقل المتزامن لعدة إشارات Simultaneous Transmission of many Signals

أفرض أن عدداً من محطات الإذاعة تبث إشارتها الصوتية مباشرة وبدون أي تعديل. بطبيعة الحال سوف تتداخل هذه الإشارات لأن طيفها الترددي يشغل النطاق نفسه تقريباً. ولهذا فلن يكون من الممكن بث أكثر من قناة إذاعية واحدة في الوقت نفسه. وإحدى الطرق الناجحة لحل مثل هذه المعضلة تكمن في استعمال التضمين حيث يمكن تضمين إشارات صوتية متعددة فوق حوامل ذات ترددات مختلفة وبهذا فإننا ننقل كل إشارة إلى نطاق ترددي مختلف. وإذا كانت ترددات الموجات الحاملة بعيدة عن بعضها بما فيه الكفاية فإن أطياف الإشارات المضمنة لن تتداخل مع بعضها, ويمكن في جهاز الاستقبال استعمال مرشح إمرار نطاقي قابل للتغيير لاختيار الإشارة أو المحطة المرغوبة. وتعرف بتقسيم التردد Frequency Division Multiplexing (FDM) حيث تشترك إشارات مختلفة في استعمال النطاق الترددي للقناة بدون أي تداخل.

١-٣ الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic Spectrum

تنقسم ترددات الموجات الكهرومغناطيسية التي يجري إرسالها إلى أنظمة الاتصالات المعتادة إلى ثمانية أقسام رئيسة. وتتمتع كل هذه الأقسام بمواصفات إرسال خاصة تجعلها مناسبة لعدد من التطبيقات. ويبين الجدول 1-1 هذه الأقسام الثمانية إلى جانب أطوال موجاتها, ويمكن استخلاص أطوال الموجات هذه اعتماداً على القانون التالي:

$$\lambda = \frac{c}{f} \qquad [\,\mathrm{m}\,] \qquad (1\text{-}1)$$

حيث: يمثل طول الموجة بالمتر

C: سرعة الضوء = 300000000 م/ث

f: تردد الموجة بالهرتز.

الجدول ١-١: يبين الأقسام الرئيسة في طيف الترددات الكهرومغناطيسية

القسم	الترددات	أطوال الموجات
قسم الترددات المنخفضة جداً(VLF)	3kHz-30kHz	100km-10km
قسم الترددات المنخفضة(LF)	30kHz-300kHz	10km-1km
قسم الترددات المتوسطة(MF)	300kHz-3MHz	1000m-1km
قسم الترددات العالية(HF)	3MHz-30MHz	1000m-10m
قسم الترددات العالية جداً(VHF)	30MHz-300MHz	100m-10m
قسم الترددات المتفوقة(UHF)	300MHz-3GHz	10m-1m
قسم الترددات الفائقة(SHF)	3GHz-30GHz	10cm-1cm
قسم الفائقة للغاية (EHF)	30GHz-300GHz	1cm-1mm

حيث نعني بـ V: very, L: Low, H: High, F: Frequency, M: medium,
E: Extremely, S: Super, U: Ultra.

مثال ١-١

أ. أوجد الطوال الموجي (λ) لكل من الترددات التالية

1 كيلو هرتز(1 KHz)

100 كيلو هرتز(100 KHz)

10 ميجاهرتز(10 MHz)

ب . ماذا تستنتج؟

الحل:

أ. باستعمال العلاقة (1-1) نجد

f= 1000Hz :
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8}}{1000} = 300\ Km$$

f= 10^5 H
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8}}{10^{5}} = 3\,Km$$

f=10^6 Hz :
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\times 10^{8}}{10^{6}} = 30\ m$$

ب. من خلال الأرقام التي تحصلنا عليها نستنتج أنه كلما زاد التردد قل طول الموجة, وهذا يوضح لنا لماذا موجات الميكروييف (أو الموجات الدقيقة) تستعمل في الاتصالات بواسطة الأقمار الصناعية لأن أطوال موجاتها قصيرة جداً كما يوضح الجدول 1-1 وبالتالي بإمكان الموجة اختراق الغلاف الجوي بكل سهولة ولا يحدث لها انعكاس كما في الترددات المنخفضة والمتوسطة وبالتالي تلتحق هذه الموجات بالأقمار الصناعية ليعاد إرسالها إلى المناطق المرغوبة.

والآن بعدما عرفنا الأقسام الرئيسة لطيف الترددات المغناطيسية نلقي الضوء فيما يلي على بعض التطبيقات الهامة ضمن كل من هذه الأقسام.

أ - قسم الترددات المنخفضة جداً (VLF), ومجال الترددات المنخفضة (LF) ويستخدم أساساً في الملاحة .

ب -قسم الترددات المتوسطة (MF): يستخدم غالباً في البث الإذاعي المعتاد.

جـ -قسم الترددات العالية (HF): ويستخدم في بعض الهواتف, والاتصال بين الطائرات والسفن وغير ذلك.

د -قسم الترددات العالية جداً (VHF): ويستخدم في بعض أنظمة التلفاز والإرسال الإذاعي, وأنظمة التحكم بالحركة الجوية, وأنظمة اتصالات الشرطة, وغيرها.

هـ -قسم الترددات المتفوقة (UHF): ويستخدم أيضاً في بعض أنظمة التلفاز, وعدد من أنظمة الرادار, والأقمار الصناعية.

و قسم الترددات الفائقة (SHF): يستخدم في عدد من أنظمة الرادار المختلفة وفي توصيلات موجات الميكروييف, وعدد من أنظمة الاتصالات المتحركة.

ز -قسم الترددات الفائقة للغاية (EHF): ويستخدم في بعض أنظمة القطارات, وبعض أنظمة الرادار.

ونظراً لاتساع مجالات الترددات العليا, وإمكاناتها في استيعاب العديد من التطبيقات, فإنها قسمت بدورها إلى عدد من الأقسام حيث وضع لكل قسم اسم ورمز كما يوضحه الجدول 2-1.

بالإضافة إلى ما سبق من مجالات ترددات معروف يقل في معظم تردداته عن قسم الترددات المنخفضة وهذا يعرف بقسم الترددات الصوتية Voice Frequency VF, حيث تقع تردداته ما بين 300-3400 هرتز.

الجدول 1- 2 يوضح نطاقات ورموزها في مجال الميكروييف.

نطاق الترددات	الرمز السابق	الرمز الحالي
500 MHG - 1GHz	VHF	C
1GHz - 2GHz	L	D
2GHz - 3GHz	S	E
3GHz - 4GHz	S	F
4GHz - 6GHz	C	G
6GHz - 8GHz	C	H
8GHz - 10GHz	X	I
10GHz - 12.4GHz	X	J
12.4GHz - 18GHz	Ku	J
18GHz - 20GHz	K	J
20GHz - 26.5GHz	K	K
26.5GHz - 40GHz	Ka	K

نود أن نلتف الانتباه بأن مجموع الأقسام التالية EHF, SHF , UHF هي جزء من مجال ترددات الميكروييف المحصورة بين (300MHz – 300GHz).

أما الترددات التي تفوق قسم الترددات الفائقة EHF فتتقسم إلى عدة أقسام وهي:

أ - قسم الترددات الضوئية ويبدأ هذا القسم عن حوالي 10^{12}Hz ويمتد حتى يتجاوز 10^{16}Hz, وينقسم إلى ثلاثة مجالات هي: الأشعة تحت الحمراء infrared, والضوء المرئي Visible, والأشعة فوق البنفسجية ultraviolet.

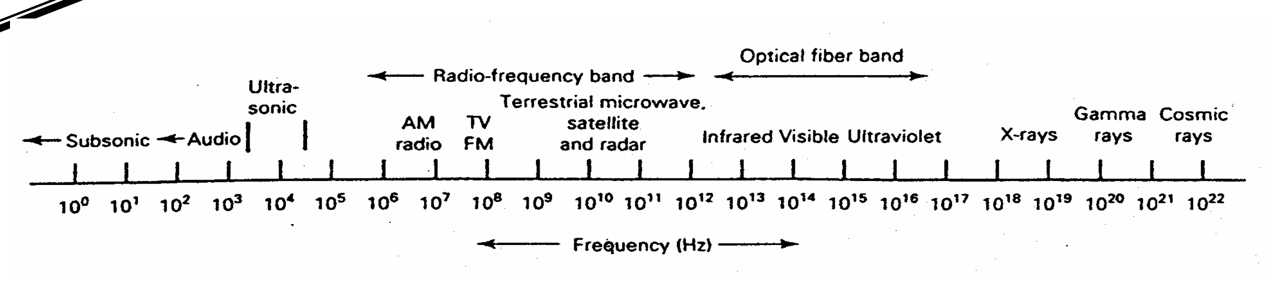
ب - قسم ترددات الأشعة السينية X-rays ويقع ضمن نطاق يتوسطه التردد 10^{18}Hz.

ج - قسم ترددات أشعة جاما Gama rays؛ ويفوق مجال تردداتها الأشعة السينية ويتداخل معه ويقع ضمن ترددات يتوسطه 10^{20}Hz على وجه التقريب.

د - قسم ترددات فوتونات الأشعة الكونية(cosmic photons) ويتجاوز هذا المجال مجال أشعة جاما ويصل إلى أكثر من التردد 10^{32}Hz.

أما ترددات الاتصالات عبر الألياف البصرية Fiber Optics وترددات الليزر Laser تقع ضمن الترددات الضوئية أما الضوء المرئي فهو يشكل جزءاً محدوداً من مجال الترددات الضوئية ويقع هذا الجزء بين بداية الضوء الأحمر (4.285×10^{14}Hz) وحتى نهاية الضوء البنفسجي (7.5×10^{14}Hz).

يمكن أن نعبر على كل ما سبق ذكره من مختلف أقسام الترددات بالشكل 3-1.



الشكل 3-1 ترددات الطيف الكهرومغناطيسي

١-٤ عرض النطاق Bandwidth

يعتبر عرض النطاق أحد العناصر الأساسية بجانب الضوضاء الذي يقلل من كفاءة نظم الاتصالات. هنا يجب التمييز بين نوعين من عرض النطاق، هناك عرض نطاق إشارة المعلومات (BW_{lnf}) وعرض نطاق قناة الإرسال أو ما يسمى كذلك عرض قناة النقل(BW_{ch}). فإن عرض نطاق إشارة المعلومات فهو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والتردد الأدنى المحتويين ضمن إشارة المعلومات. أما عرض نطاق القناة هو عبارة عن الفرق بين التردد الأعلى والأدنى اللذين تسمح لهما القناة بالمرور. وبالتالي نخلص إلى القاعدة التالية حتى تنقل إشارة المعلومات عبر أي قناة لا بد أن يكون عرض نطاق إشارة المعلومات أقل أو يساوي عرض نطاق القناة. أي

$$Bw_{\text{inf}} \leq Bw_{ch} \qquad (1\text{-}2)$$

BW_{inf}: عرض نطاق إشارة المعلومات

BW_{ch}: عرض نطاق إشارة المعلومات.

مثال 2-1

إذا كان نظام الإرسال التلفزيوني الذي يستخدم الكوابل للنقل له عرض نطاق من 500 كيلو هرتز إلى 5000 كيلو هرتز.

أ. احسب عرض نطاق القناة(BW_{ch}).

ب. هل هذه القناة تسمح بمرور الإشارات الصوتية؟

جـ. هل تتمكن الإشارات ذات الترددات العالية العبور خلال هذه القناة؟

الحل:

أ. عرض نطاق القناة

$$Bw_{ch} = 5000 - 500 = 4500 \text{ KHz}$$

ب. عرض نطاق الإشارة الصوتية($Bw_{information}$)

$$Bw_{inf} = 3400 - 300 = 3100 \text{ KHz}$$

واضح أن هذه القناة تسمح للإشارات الصوتية بالمرور لأن عرض نطاق هذه القناة أكبر من عرض نطاق الإشارات الصوتية.

جـ. عرض نطاق إشارات ذات الترددات العالية

$$BW_{inf} = 30 \text{ MHz} - 3 \text{ MHz} = 27 \text{ MHz}$$

واضح أن هذا النوع من الإشارات لا يمكنها العبور خلال هذه القناة لأن عرض نطاقها أكبر بكثير من عرض نطاق القناة.

١-٥ أنماط الإرسال Transmission Modes

إن الإرسال في نظام الاتصالات الإلكترونية لابد أن يصمم حسب الاحتياجات التالية:

أ. الإرسال في اتجاه واحد ويدعى Simplex (SX) وكمثال على ذلك المذياع والتلفاز .

ب. الإرسال المتناوب وهو يتم في اتجاهين لكن ليس في نفس الوقت وهو يدعى Half Duplex (HDX) وكمثال على ذلك نظام المذياع ذو اتجاهين (اضغط لكي تتكلم) .

جـ. الإرسال في اتجاهين هنا الإرسال يتم في اتجاهين وفي نفس الوقت ويطلق عليه Full Duplex (FDX), وكمثال على ذلك نظام الهاتف و الجوال.

د. الإرسال متعدد الاتجاهات في هذا النوع من الإرسال يمكن إرسال واستقبال إلى ومن عدة محطات وفي آن واحد ويطلق عليه Full/Full Duplex (F/FDX) وكمثال على ذلك خدمات البريد.

١-٦ التشويش Noise

يعتبر التشويش أحد العوائق الرئيسة لأنظمة الاتصالات وكما يقال لولا التشويش لاستطعنا أن نرسل المعلومة إلى أبعد ما يمكن. ويعرّف على أنه الطاقة غير المرغوب فيها التي تنشأ ضمن مختلف عناصر أنظمة الاتصالات لتشارك الإشارة الأصلية بالمرور عبر هذه العناصر.

ينقسم التشويش إلى نوعين رئيسين هما:

١-٦-١ التشويش غير المرتبط بالإشارة Uncorrelated Noise

وهو عبارة عن التشويش الذي ليس له علاقة بالإشارة الأصلية المطلوب نقلها عبر أنظمة الاتصالات, وهو ينقسم إلى قسمين:

أ. التشويش الخارجي External Noise

وهو عبارة عن التشويش الذي يتولد من طرف مصادر خارجية أي ليس له علاقة بالدوائر الإلكترونية المستخدمة في أنظمة الاتصالات لكن يؤثر فيها وكمثال على ذلك: ضوضاء الغلاف الجوي, وضوضاء أشعة الشمس, وضوضاء الأشعة الكونية, والضوضاء الناتجة من صنع الإنسان.

ب. التشويش الداخلي (Internal Noise)

ويقصد به التأثيرات الغير المرغوب فيها الناتجة عن مكونات الدوائر الإلكترونية, مثل المقاومات وغيرها, والتي تؤثر على الموجة الأصلية المطلوب نقلها أثناء عبورها عبر هذه الدوائر. وللتشويش الداخلي أشكال متعددة تنتج عن أسباب مختلفة وكمثال على ذلك تشويش جونسون Johnson Noise وينشأ بسبب ارتفاع درجة الحرارة في مكونات الدوائر الكهربائية.

فارتفاع درجة الحرارة يزيد الحركة العشوائية للذرات والإلكترونيات في المادة. ويؤدي ذلك إلى إشعاع طاقة كهرومغناطيسية تظهر على هيئة جهد تشويش غير مرغوب فيه. ويقع جهد التشويش هذا ضمن ما يسمى بالتشويش الأبيض White Noise, أي الذي يشمل جميع الترددات. ويزداد هذا التشويش كلما ازداد عرض نطاق ترددات نظام الاتصالات. أما المثال الثاني على التشويش الداخلي فيتمثل في التشويش الناتج عن مشاكل التغذية الكهربائية لمكونات الدوائر الإلكترونية في أنظمة الاتصالات. ويتضمن هذا التشويش أثر الطلقة.Shot noise وتشويش التقسيم Partition noise. ويقصد بأثر الطلقة الجهد المتغير الناتج عن تغير تيار التغذية الكهربائية في الوقت الذي يفترض بهذا التيار أن يكون ثابتاً. أما تشويش التقسيم فهو الذي ينتج عن اختلال توزع تيار التغذية بين فروع الدائرة التي يغذيها. وهناك أشكال أخرى كثيرة من التشويش الداخلي مثل تشويش زمن التحول transit noise الذي ينشأ عن تماثل زمن حركة الإلكترونيات بين أطراف دائرة كهربائية مع دور الموجة المطلوبة التي تعبر الدائرة, والتشويش الناتج عن الحقول المغناطيسية لمحولات الربط في المضخات.

٢-٦-١ التشويش المرتبط بالإشارة Correlated Noise

هو عبارة عن التشويش المرتبط بالإشارة الأصلية التي تعبر الدوائر الإلكترونية التي تدخل في تكوين نظام اتصالات. هذا النوع من التشويش لا يمكن أن يتواجد في الدائرة بدون تواجد الإشارة ولهذا يقال لا إشارة, لا تشويش . وإن التشويش المرتبط بالإشارة ينتج عن طريق التضخم اللاخطي ويشمل كل من التشويش الناتج عن المركبات التموجية والتشويش الناتج على التشوه الذي يحدث أثناء عملية التضمين.

نود التنبيه على أن التشويش الناتج عن الغلاف الجوي والصادر عن العواصف الرعدية thunderstorms تؤثر تأثيراً مباشراً على البث الإذاعي الذي يستخدم Amplitude Modulation: AM. والسبب في ذلك يعود على أن الموجات الناتجة من العواصف الرعدية تتناسب عكسياً مع التردد الواقع في المجال أقل من 100MHz. أي كلما قل التردد كلما زاد التشويش. لكنه أقل تأثيراً على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم FM : Frequency Modulation حيث مجال تردداته [88MHz – 108 MHz].

لنعود الآن قليلاً إلى الوراء ونقوم بدراسة تفصيلية لنوع مهم في التشويش والذي لا تخلو منه أي دائرة إلكترونية هذا النوع هو التشويش الحراري Thermal noise ويطلق عليه تشويش جونسن. حيث استطاع الباحث Johnson أن يبرهن على أن طاقة التشويش الحراري تتناسب طردياً مع عرض النطاق ودرجة الحرارة. يمكن التعبير عليه بالعلاقة الرياضية التالية:

$$N = KTB \qquad (1\text{-}3)$$

حيث:

N : طاقة التشويش **(Watts)**

B: عرض النطاق **(Hertz)**

T : درجة الحرارة **(Kelvin)**

ولتحويل من درجة حرارة عادية إلى Kelvin لتستعمل العلاقة التالية:

$$T = C^{\circ} + 273$$

K: ثابت بولتزمان = $1.38 \times 10^{-23}\left(\frac{Joules}{Kelvin}\right)$

أما إذا أردنا أن نعبر على الطاقة بوحدة ديسبال Decibel ويرمز له عادة بـdB, فنأخذ الدالة اللوغارتمية في الأساس 10 للمعادلة (3 1) مضروباً في العدد 10. أي:

$$N_{dB} = 10\ Log\ (\ KTB\ ) \qquad [\ dB] \qquad (1\text{-}4)$$

حيث:

N_{dB}: طاقة التشويش بالديسيبل.

مثال 1-3

إذا كان جهاز إلكتروني يشتغل عند درجة الحرارة °17 وعرض نطاق 10 كيلوهرتز.

احسب ما يلي:

أ - طاقة التشويش بالواط.

ب -طاقة التشويش بالديسيبل.

الحل:

أ. طاقة التشويش بالواط

$$N = KTB = 1.38 \text{ X } 10^{-23} \text{ X } (17+273) \text{ X } 10 \text{ X } 10^{3} = 4 \text{ X}10^{-17} \text{Watts}$$

ب. طاقة التشويش بالديسيبل

$$N_{dB} = 10 \text{ Log } (\text{ KTB }) = 10 \text{ Log } (4 \text{ X}10^{-17}) \approx -164 \text{ dB}$$

١-٦-٣ نسبة الإشارة إلى التشويش Signal – to – Noise ration

إن عامل نسبة الإشارة إلى التشويش كثيراً ما يستعمل في تباين آداء أنظمة الاتصالات. فكلما زادت هذه النسبة كلما ازدادت كفاءة نظام الاتصالات. تعرض هذه النسبة كحاصل قسمة قدرة الإشارة إلى قدرة الضوضاء. يعبر عليها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n} \qquad (1\text{-}5)$$

ويمكن التعبير على هذه النسبة بواسطة الديسيبل

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10Log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) \qquad (1\text{-}6)$$

حيث:

$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$: نسبة قدرة الإشارة إلى قدرة التشويش بالديسيبل.

P_s : قدرة الإشارة بالواط

P_N : قدرة التشويش بالواط.

و يمكنك بكل بساطة أن تثبت العلاقات التالية عندما تتعامل مع كل من الجهد والتيار فإن النسبة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 20Log\left(\frac{V_s}{V_n}\right) \qquad (1\text{-}7)$$

و

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 20Log\left(\frac{I_s}{I_n}\right) \qquad (1\text{-}8)$$

مثال 1-4

إذا كانت طاقة إشارة خرج مضخم تساوي 10W وطاقة تشويش إشارة الخرج تساوي 0.01W, أوجد:

أ. نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش $\left(\frac{S}{N}\right)$.

ب. نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش مقدرة بالديسيبل $\left(\frac{S}{N}\right)_{dB}$.

الحل:

أ. $$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n} = \frac{10}{0.01} = 1000$$

ب. $$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10Log\left(\frac{P_s}{P_n}\right) = 10Log(1000) = 30dB$$

٧-١ تحليل ترددات الطيف Spectral Analysis

يختص علم تحليل ترددات الطيف باستخدام الوسائل الرياضية لإيجاد مواصفات الموجات في مجال التردد, ومعرفة العلاقات التي تربط هذه المواصفات بتلك القائمة في مجال الزمن. ويفيد هذا العلم مهندس وفني الاتصالات في دراسة الموجات المرسلة والمستقبلة والمعالجة في أنظمة الاتصالات. إن نظرية تحليل ترددات الطيف تشمل دراسة لنشر فورير بحالاته المختلفة وتطبيقاته في حساب القدرة القياسية للموجات عند تردداتها المختلفة, وكذلك تحويل فورير وتطبيقاته في الطاقة القياسية ونظرية الالتفاق, واستجابة الأنظمة وارتباط الموجات. نحن في هذه الحقيبة نستعرض لنشر فورية فقط, أما من أراد أن يتوسع أكثر فعليه بالرجوع إلى المراجع المذكورة في نهاية الحقيبة.

١-٧-١ نشر فورير Fourier Expansion

الغاية من نشر فورير هي تحويل دالة مثل دالة الجهد *V(t)* بتغير ضمن مجال الزمن بشكل دوري إلى مركبات الأساسية في مجال التردد. ويعطي هذا النشر معلومات حول هيكل ترددات الموجة, وبالتالي عرض نطاق تردداتها, التي تساعد في تصميم واختيار أجهزة الاتصالات المناسبة.

ولدراسة نشر فورير نفرض أن لدينا الموجة الدورية *V(t)* , حيث يبلغ دورها T, وترددها f وترددها الزاوي ω. يعطى نشر فورييه لهذه الموجة على النحو التالي:

$$v(t) = A_0 + A_1 \cos(wt) + A_2 \cos(2wt) + ... + A_n \cos(nwt) +$$

$$B_0 + B_1 Sin(wt) + A_2 \sin(2wt) + ... + A_n \sin(nwt) \quad (1\text{-}9)$$

يمكن كتابة السلسلة (9 1) على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} V(t) = A_0 + \text{fundamental} + 2^{nd}\ \text{harmonic} + \\ 3^{rd}\ \text{harmonic} + \ldots\ldots\ldots + n^{th}\ \text{harmonic} \end{aligned} \quad (1\text{-}10)$$

حيث :

A_0: يمثل القيمة الثابتة للجهد أو التيار المستمر (DC value).

Fundamental : المركبة الأساسية للموجة كما تدعى التوافق الأساسي للموجة وترديدها هو تردد الموجة الأصلية (f_1).

2nd harmonic : المركبة الثابتة للموجة بعد الأساسية وتدعى كذلك التوافق الثاني وترددها $f_2=2.f_1$ وهكذا بالنسبة لبقية الحدود.

والغاية من هذا هو السماح بإيجاد مركبات الموجة في المجال الترددي كما تسمح بإيجاد عرض نطاقها.

أما الثوابت B_n .... B_2, B_1, A_n .... , A_1 , A_0

فهي تحسب باستعمال العلاقات التالية:

$$A_0 = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)dt \qquad (1\text{-}11)$$

$$A_n = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos(nwt)dt \qquad (1\text{-}12)$$

$$B_n = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\sin(nwt)dt \qquad (1\text{-}13)$$

هناك حالات خاصة للمعادلة (1-7) فإذا كانت دالة V(t) دالة زوجية فإن العلاقة (1-9) تختصر إلى ما يلي:

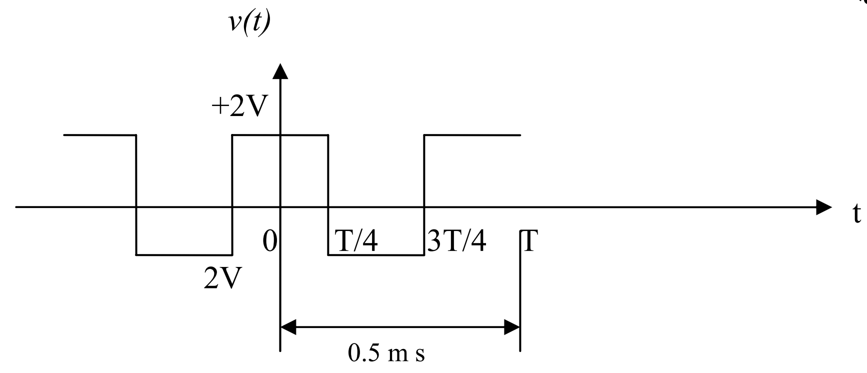
$$V(t) = A_0 + A_1 \cos wt + A_2 \cos 2wt + ... t A_n \cos nwt \qquad (1\text{-}14)$$

أما إذا كانت $V(t)$ دالة فردية فإن العلاقة (1-9) تختصر إلى ما يلي:

$$V(t) = A_0 + B_1 \sin wt + B_2 \sin 2wt + ... t B_n \sin nwt \qquad (1\text{-}15)$$

مثال 1-5

لدينا موجة النبضات الدورية المبينة بالشكل أوجد سلسلة فورييه للمركبتين الأوليتين (التوافقين الأولين).



١. أوجد التردد للمركبة الأساسية.

٢. أوجد التردد للمركبة الثانية (التوافق الثاني).

٣. ارسم الطيف الترددي للجهد.

الحل:

١. لإيجادسلسلة فورير للمركبتين الأوليتين (التوافقين الأولين) نتبع الخطوات التالية:

$$v(t) = A_0 + A_1 \cos(wt) + A_2 \cos(2wt) + ... + A_n \cos(nwt)$$

$$A_o = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^{\frac{T}{4}} 2\,dt + \frac{1}{T}\int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} -2\,dt + \frac{1}{T}\int_{\frac{3T}{4}}^{T} 2\,dt = 0$$

$$A_1 = \frac{2}{T}\int_0^T v(t)\cos(\quad t)\,dt =$$

$$A_1 = \frac{2}{T}\left[\int_0^{\frac{T}{4}} 2\cos(wt)\,dt + \int_{\frac{T}{4}}^{\frac{3T}{4}} -2\cos(wt)\,dt + \int_{\frac{3T}{4}}^{T} 2\cos(wt)\,dt\right] = \frac{8}{\pi}$$

باستخدام نفس الخطوات السابقة نحصل على

$A_2 = 0$ & $A_3 = -\frac{8}{3\pi}$

إذاً سلسلة فورير للمركبتين الأوليتين تعطى كمايلي:

$$v(t) = \frac{8}{\pi}\cos(\omega t) - \frac{8}{3\pi}\cos(3\omega t)$$

٢. لإيجاد التردد للمركبة الأساسية نتبع مايلي:

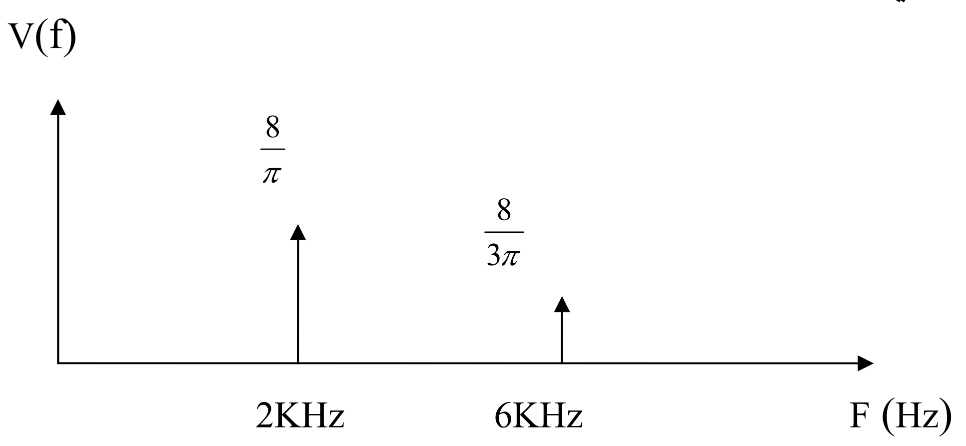
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2000\ Hz$$

$f = 2KHz$

٣. لإيجاد التردد للمركبة الثانية نتبع مايلي:

$f_s = 3f = 3 \text{x} 2K = 6KHz$


٤. رسمة الطيف الترددي للجهد



تمارين

التمرين الأول

أ. عرف الاتصالات الإلكترونية.
ب. ما هي العناصر الثلاثة الأساسية لنظام الاتصالات ؟
ج. ارسم شكلاً توضيحياً لنظام الاتصالات مع كتابة العناصر الأساسيةعلى الشكل.
د. اذكر الأنواع الأساسية لأنظمة الاتصالات.

التمرين الثاني

أ. عرف ما يلي: إشارة التضمين, والموجة الحاملة, والموجة المضمنة, والإشارة المستخلصة.
ب. عرف التضمين وكشف التضمين.
ج. اشرح لماذا عملية التضمين عملية ضرورية في الاتصالات.

التمرين الثالث

أ. اذكر الخواص الأساسية التي يمكن تغييرها في الموجة الجيبية وما هي أنواع التضمين الناتجة عن ذلك ؟ وعرف كل نوع.
ب. عرف عرض النطاق.
ج. اذكر أنواع عرض النطاق.
د. عرف كل نوع من هذه الأنواع.

التمرين الرابع:

أ. اذكر أنماط الإرسال.
ب. عرف كل نمط من أنماط الإرسال.
ج. أعط أمثلة تطبيقية على كل نمط من أنماط الإرسال .

التمرين الخامس

أ. عرف التشويش.
ب. اذكر الأقسام الرئيسة للتشويش وأعط تعريفاً لكل قسم.

ج. أعط أمثلة من التشويش على كل قسم.

د. لماذا يؤثر التشويش الناتج من العواصف الرعدية على البث الإذاعي الذي يستخدم Amplitude Modulation ولا يؤثر على البث الإذاعي والتلفزيوني الذي يستخدم Frequency Modulation.

التمرين السادس

إذا كان جهاز الحاسوب يشتغل عند درجة الحرارة 27° بعرض نطاق قدرة **5** كيلو هرتز.

أ. هل جهاز الحاسوب يتعرض إلى عملية التشويش.؟

ب. ما هو نوع هذا التشويش, أعط تعريفاً له وكيفيته ؟

ج. أحسب طاقة التشويش بالواط.

د. أحسب طاقة التشويش بالديسيبل.

التمرين السابع:

أثبت صحة العلاقات (1-5) و (1-6).

التمرين الثامن

إذا كانت طاقة إشارة الخرج من جهاز ما 20 واط وطاقة إشارة التشويش عند الخرج تساوي 0.02 واط.

أ. احسب نسبة طاقة الإشارة إلى طاقة التشويش.

ب. احسب هذه النسبة بالديسيبل.

التمرين التاسع

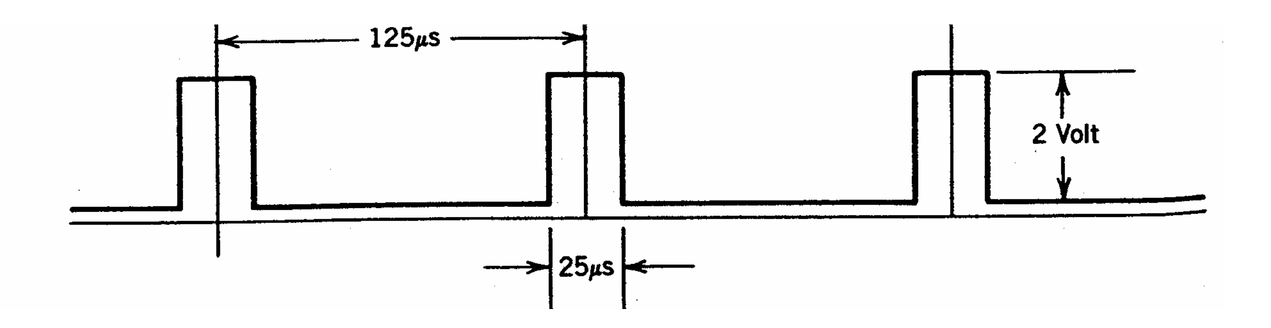
أ. ما هي الغاية المرجوة من دراسة نشر فورييه.

ب. أعط سلسلة فورييه لموجة $V(t)$ وكيفية حساب الثوابت التي تدخل في تكوينها.

ج. على أي شكل يمكن كتابة هذه السلسلة وما هي الفائدة من وراء ذلك.

التمرين العاشر:

لدينا موجة النبضات الدورية المبينة في الشكل



أ. ما هو دور هذه الموجة T

ب. احسب التردد f.

ج. احسب سرعتها الزاوية ω

د. ما هو الزمن الفعلي للنبضة.

هـ. أوجد نشر فورير للحدود الخمسة الأولى.

ه. أوجد تردد لكل مركبة من المركبات الخمسة.

و. ارسم الطيف الترددي للجهد.



أساسيات الاتصالات

تضمين السعة (الإرسال)

تضمين السعة (الإرسال)



الوحدة الثانية : تضمين السعة (الإ رسال)

Amplitude Modulation (AM) Transmission

• الهدف

عند نهاية هذه الوحدة فإن المتدرب بإمكانه

أ. معرفة أهمية عملية التضمين.

ب. التعرف على التضمين الاتساعي(السعة).

ج. معرفة الفرق بين إشارة التضمين والإشارة المضمنة.

د. توليد موجة AM نظرياً وعملياً.

ه. حساب معامل ونسبة التضمين.

• محتوى الوحدة الثانية :

٢ -١ مقدمة.

٢ -٢ أساسيات تضمين السعة.

٢ -٣ الطيف الترددي لتضمين السعة وعرض نطاقها.

٢ -٤ ثابت التضمين والنسبة المئوية للتضمين.

٢ -٥ توزيع لجهد تضمين السعة.

٢ -٦ توزيع الطاقة.

٢ -٧ حساب تيار موجة **AM**.

٢ -٨ التضمين بواسطة الإشارة المركبة.

٢ -٩ دائرة المعدل ودائرة الكاشف .

٢ -١٠ جهاز الإرسال.

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : 12ساعة

٢-١ مقدمة

إن معظم إشارات النطاق الترددي الأساسي الناشئة عن مصادر المعلومات المختلفة لا تكون دائماً مناسبة للنقل عبر قنوات الاتصالات المتاحة, ولهذا فإن هذه الإشارات تعدل عادة لتسهيل عملية النقل وتعرف هذه العملية بالتضمين حيث من خلالها تُعدل إشارة المعلومات الأساسية (information) على بعض خصائص الإشارة الحامله ذات التردد العالي.

وهذه الإشارة الحاملة هي عبارة عن إشارة موجية عالية التردد يطلق عليها كلمة حامل **(Carrier)** ويتم تعديل أحد خواصها مثل السعة, والتردد , والطور بمقدار يتناسب مع إشارة المعلومات الأساسية $m(t)$. وهذا يؤدي لإنتاج تضمين السعة (AM), وتضمين ترددي (FM), وتضمين طوري (PM).

إن التضمين يتشكل في قسم الإرسال, فإن إحدى هذه الموجات الثلاث, تبعاً لنوعية التضمين, هي التي ترسل من قسم الإرسال إلى قسم الاستقبال. وفي جهاز الاستقبال تمر الموجة AM بعملية عكسية تسمى إزالة التضمين (demodulation) وذلك لاستخلاص إشارة المعلومات الأساسية المرسلة.

فمن خلال هذه الوحدة, سنقوم بدراسة شاملة للنوع الأول من التضمين الذي يتمثل في تضمين السعة (AM).

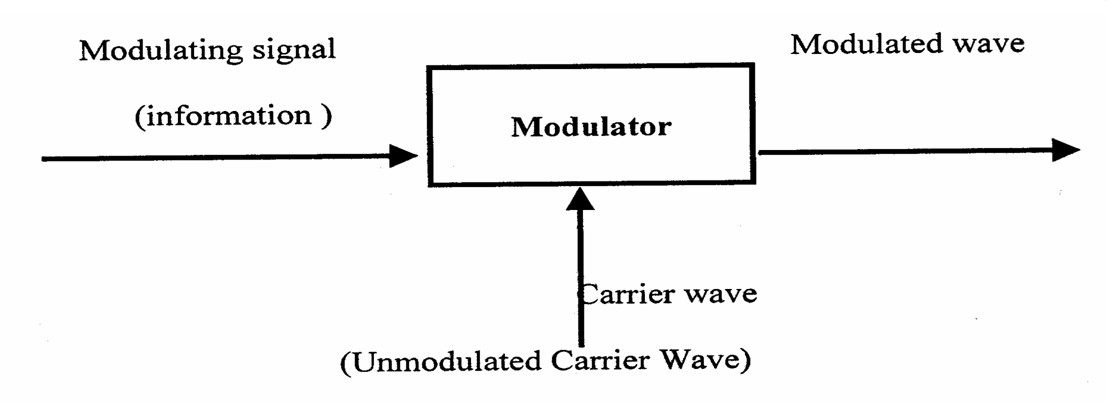
٢-٢ أساسيات تضمين السعة Amplitude Modulation

أ -تعريف تضمين السعة (AM)

هو تغيير اتساع الموجة الجيبية الحاملة ذات التردد المرتفع حيث يتناسب طردياً مع إشارة المعلومات الأساسية $m(t)$.

ب -المضمن السعوي AM Modulator

هو عبارة عن جهاز غير خطي ذي دخلين إحداهما مخصص لإشارة المعلومات والآخر مخصص للموجة الحاملة, وخرج نحصل عن طريقه على الموجة المضمنة (Modulated wave) . الشكل2-1 يوضح المضمن.

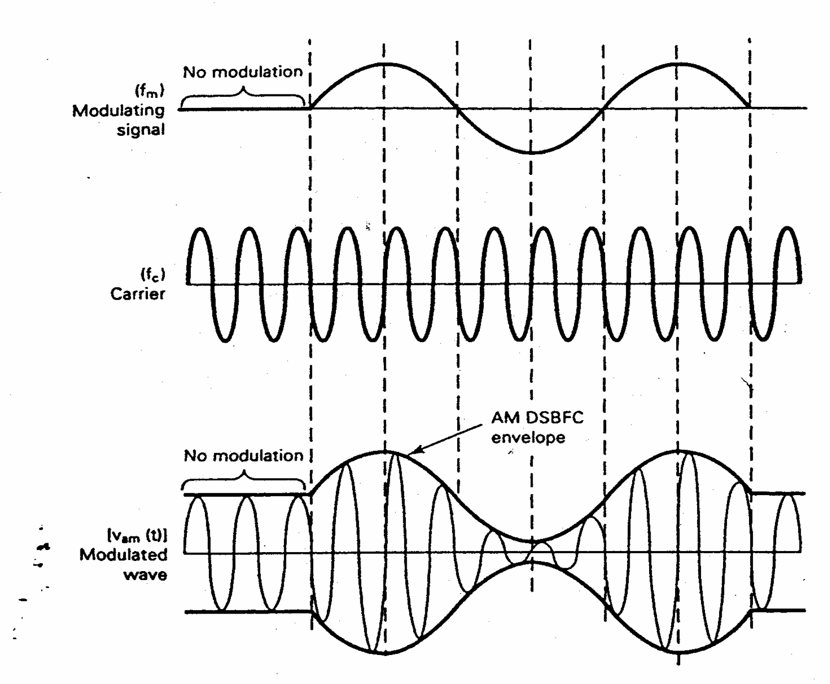


الشكل 2-1 : رسم توضيحي للمضمن.

جـ -توليد إشارات تضمين السعة (الاتساع) Generation of AM Signals

على الرغم من وجود عدة أنواع من إشارات تضمين السعة, فإن النطاق الجانبي المزدوج ذا الموجة الحاملة الكاملة Amplitude Modulation Double Sideband Full Carrier (AM SBFC)
هو الأكثر استعمالاً " AM DSBFC" في بعض الأحيان تستخدم بدلاً عنها AM للتبسيط.

إن الشكل 2-2 يوضع العلاقة بين إشارة المعلومات الأساسية $V_m(t)=E_m\ Sin(2\pi f_m t)$, و إشارة الموجة الحاملة $V_c(t)=E_c\ \ Sin(2\pi\ f_c t)$ والإشارة أو الموجة الناتجة عن عملية التضمين $V_{AM}(t)$ التي سوف نحدد طبيعتها الرياضية من خلال هذه الوحدة عند تناولنا دراسة توزيع الجهد لإشارة تضمين السعة. إن الشكل 2-2 يبين كيفية إنتاج موجة AM, وذلك عندما إشارة المعلومات ذات التردد المنخفض تؤثر في الإشارة الحاملة ذات التردد العالي. نلاحظ كما هو مبين في الشكل 2-2 أنه عند انعدام إشارة المعلومات التي نطلق عليها من الآن فصاعداً إشارة التضمين, فإن الموجة الناتجة هي فقط الموجة الحاملة. ونظراً لأن من الصعوبة نقل الإشارات بشكل عام عند الترددات المنخفضة فإن إنتاج موجة AM بواسطة التضمين تسمح بنقل إشارة المعلومات خلال جهاز نظام الاتصالات.



الشكل 2-2 إنتاج الموجة المضمنة, من الأعلى إلى الأسفل إشارة المعلومات, والإشارة الحاملة وموجة AM.

د -خصائص الموجة المضمنة (Modulated Wave Characteristics)

تتميز الموجة الناتجة عن طريق عملية التضمين (الموجة المضمنة) بما يلي:

الموجة المضمنة لها نفس تردد الموجة الحاملة (f_c).

التغير الذي يطرأ على سعة الموجة المضمنة أثناء عملية التضمين يساوي التغيير الذي يحدث لسعة إشارة التضمين (إشارة المعلومات الأساسية).

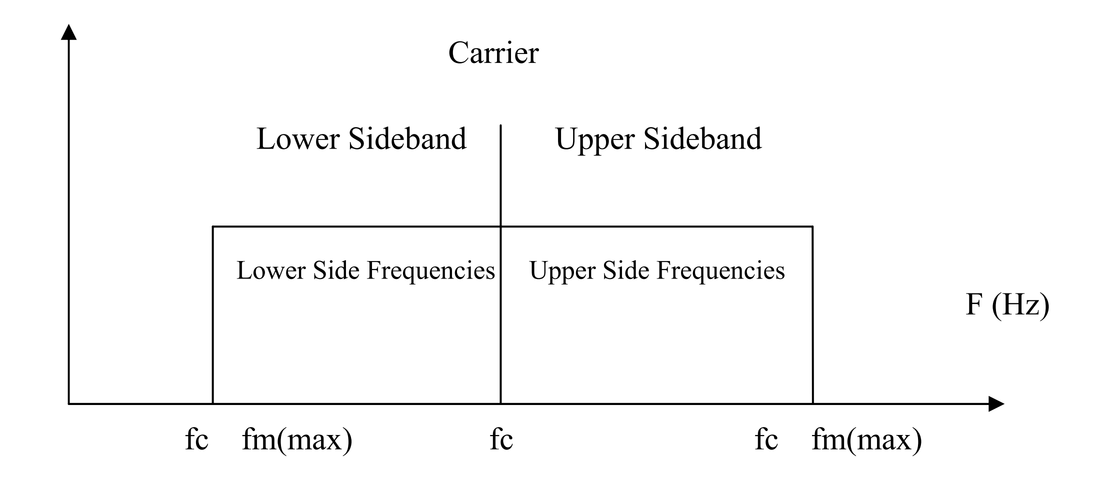
تردد الغلاف الخارجي (الكاشف) يساوي تردد إشارات التضمين.

سعة الغلاف الخارجي (الكاشف) تساوي سعة إشارة التضمين.

٢-٣ الطيف الترددي وعرض النطاق AM Frequency Spectrum and Bandwidth

أ -الطيف الترددي AM Frequency Spectrum

كما ذكرنا آنفاً أنه من الصعوبة إرسال الإشارات ذات الترددات المنخفضة, لأن هذا يتطلب هوائية تبلغ من الضخامة حداً غير معقول, لأن طول هوائي الإرسال يجب أن يكون في حدود (10٪) من طول موجة الإشارة المرسلة. لهذا السبب فإن إزاحة طيف الإشارة إلى مدى ترددي مرتفع بواسطة التضمين يعتبر شيئاً مرغوباً. فمن هنا نقول إن تأثير عملية التضمين هو إزاحة تردد إشارة المعلومات في المجال الطيفي حيث ينعكس بالتساوي حول محور تردد الموجة الحاملة (f_c) كما هو موضح في الشكل 3-2.



الشكل 3-2 الطيف الترددي لموجة AM

نلاحظ من الشكل 3-2 أن طيف الموجة المضمنة والمرتكز عند التردد f_c يتكون مما يلي:

عرض النطاق الجانبي العلوي Upper Sideband (USB)

هو عبارة عن عرض نطاق المحصور بين f_c و f_c+f_m كما هو موضح قي المعادلة التالية :

$$f_c \leq USB \leq f_c + f_m \quad (2\text{-}1)$$

وكل إشارة لها تردد يقع في USB فإنه يدعى تردد الجانب العلوي Upper Side Frequency (USF) ويرمز لها بـ USF ومعطاة بالعلاقة التالية:

$$f_{usf} = f_c + f_m \quad (2\text{-}2)$$

حيث :

f_{USF}: تردد الجانب العلوي

f_c: تردد الموجة الحاملة

f_m: تردد إشارة التضمين (إشارة المعلومات الأساسية).

عرض النطاق الجانبي السفلي: Lower Sideband (LSB)

هو عبارة عن نطاق محصور بين:

$$f_c - f_m \leq LSB \leq f_c \quad (2\text{-}3)$$

وكل إشارة لها تردد يقع في LSB فإنه يدعى تردد الجانب السفلي Lower Side Frequency (LSF) ويرمز لها بـ LSF وهو معطى بالعلاقة التالية:

$$f_{Lsf} = f_c - f_m \quad (2\text{-}4)$$

ب -عرض النطاق تضمين السعة AM Bandwidth

إن عرض نطاق إشارة التضمين الاتساعي (السعوي) يمكن أن تستخرج تبعاً للشكل3-2 كما يلي:

$$BW_{AM} = (f_c + f_m) - (f_c - f_m) = 2f_m$$

إذا عرض نطاق موجة AM هو:

$$BW_{AM} = 2f_m \quad [Hz] \quad (2\text{-}5)$$

حيث :

BW_{AM}: هو عرض نطاق موجة AM ويعطى بالهرتز(Hz).

f_m: تردد إشارة التضمين (المعلومات) بالهرتز(Hz).

مثال 1-2

إذا كان لدينا جهاز التضمين (المضمن السعوي AMDSBFC modulator) ذو الدخلين,الأول الموجه الحاملة ذات تردد f_c=100kHz و الثاني موجة المعلومات الأساسية ذات تردد f_m= 5kHz.

احسب ما يلي:

أ. النهايات الترددية لكل من USB و LSB.

ب. عرض النطاق BW_{AM}

ج. التردد الجانبي العلوي (USF) عندما f_m = 3kHz .

د. التردد الجانبي السفلي (LSF) عندما f_m = 3kHz.

ه. ارسم الطيف الترددي للخرج.

حل المثال 1-2

أ. حسب المعادلة (2-1):

$$f_c \leq USB \leq f_c + f_m$$

$$100 \ kHz \leq USB \leq 105 \ KHz$$

حسب المعادلة (2-3)

$$f_c - f_m \leq LSB \leq f_c$$

$$95 \ KHz \leq LSB \leq 100 \ KHz$$

ب. حسب المعادلة (2-5) فإن

$$BW_{AM} = 2 f_m = 2 \times 5 \ KHz = 10 \ KHz$$

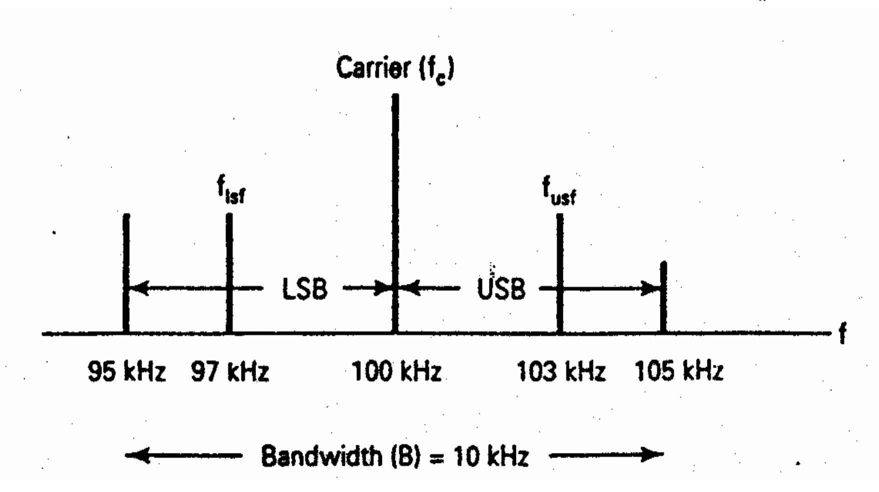
جـ. حسب المعادلة (2-2)

$$f_{usf} = f_c + f_m = 100 \ KHz + 3 \ KHz = 103 \ KHz$$

د. حسب ا لمعادلة 2-4

$$f_{Lsf} = f_c - f_m$$
$$= 100 \text{ KHz} - 3 \text{ KHz} = 97 \text{ KHz}$$

هـ. رسم الطيف الترددي



٢-٤ معامل التضمين ونسبة التضمين

Coefficient of Modulation and Percent Modulation

أ -معامل التضمين   Coefficient of Modulation

هو عبارة عن معامل نستطيع من خلاله قياس ما مدى التغير الذي يحدث في سعة موجة AM أثناء عملية التضمين. ويعبر عليه رياضياً بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{E_m}{Ec} \qquad (2\text{-}6)$$

حيث

m: معامل التضمين (بدون وحدة)

E_m: هو مقدار التغير الأقصى الذي يطرأ على سعة الموجة المضمنة (موجه خرج المضمن) وتقاس بالفولط.

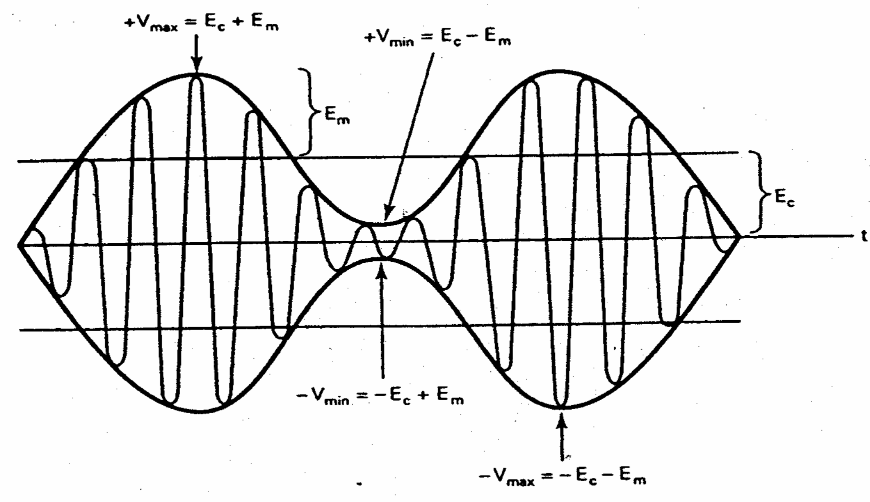
E_c: سعة الموجة الحاملة (فولط).

ب النسبة المئوية للتضمين   Percent Modulation (M)

هي عبارة عن النسبة المئوية لمعامل التضمين,حيث تعطى بالعلاقة التالية:

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100 \quad \% \qquad (2\text{-}7)$$

العلاقة بين m , E_m , E_c مبينة في الشكل2-4



الشكل 4-2 يوضح معامل التضمين, E_c و E_m .

من الشكل 4-2 نستنتج ما يلي:

$$V_{\max} = E_c + E_m \qquad (2\text{-}8)$$

$$V_{\min} = E_c - E_m \qquad (2\text{-}9)$$

بجمع المعادلتين (2-8) , (2-9) طرف إلى طرف نجد

$$E_c = \frac{1}{2}\left(V_{\max} - V_{\min}\right) \qquad (2\text{-}10)$$

ثم بطرح المعادلة 2-8 من 2-9 نجد

$$E_m = \frac{1}{2}\left(V_{\max} + V_{\min}\right) \qquad (2\text{-}11)$$

حيث

V_{max} : يمثل قيمة الجهد الأقصى لموجة AM

V_{min} : يمثل قيمة الجهد الأدنى لموجة AM

لقد سبق أن بينا بأن الموجة المضمنة (موجه AM) تتكون من الجانب العلوي والجانب السفلي, فبالتالي أي تغيير يطرأ على الموجة المضمنة هو ناتج من كلا الجانبين وهذا يقودنا إلى التعيير على E_m بما يلي:

$$E_m = E_{USF} + E_{LSF} \qquad (2\text{-}12)$$

أي المعادلة (2-12) تنص على أن التغيير الأقصى في الجهد الذي يطرأ على الموجة المضمنة هو حاصل جمع مركبتي الجهد الناتجين من الجانب العلوي والجانب السفلي.

بما أن

$$E_{USF} = E_{LSF} \qquad (2\text{-}13)$$

نعوض المعادلة (2-13) في المعادلة (2-12) نجد

$$\mathrm{E}_{\mathrm{USF}} = \mathrm{E}_{\mathrm{LSF}} = \frac{E_m}{2} \qquad (2\text{-}14)$$

ثم نعوض (2-10) في المعادلة (2-14) لكي نخلص إلى ما يلي:

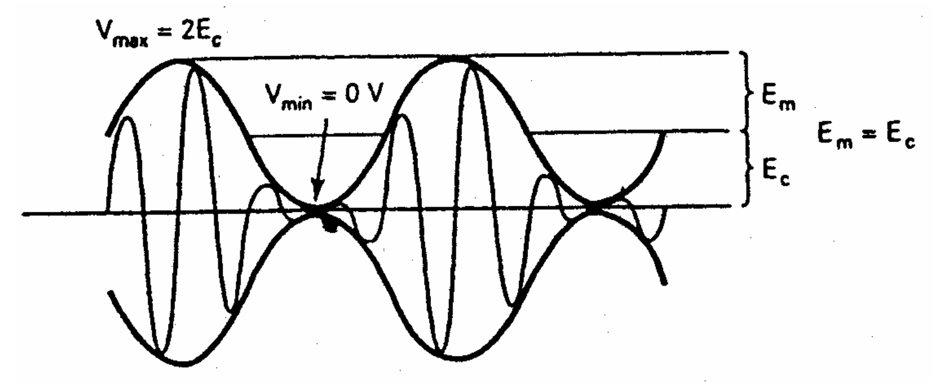
$$\mathrm{E}_{\mathrm{USF}} = \mathrm{E}_{\mathrm{LSF}} = \frac{1}{4}\left(V_{\max} - V_{\min}\right) \qquad (2\text{-}15)$$

حيث:

E_{USF}: جهد الجانب العلوي [Volts]

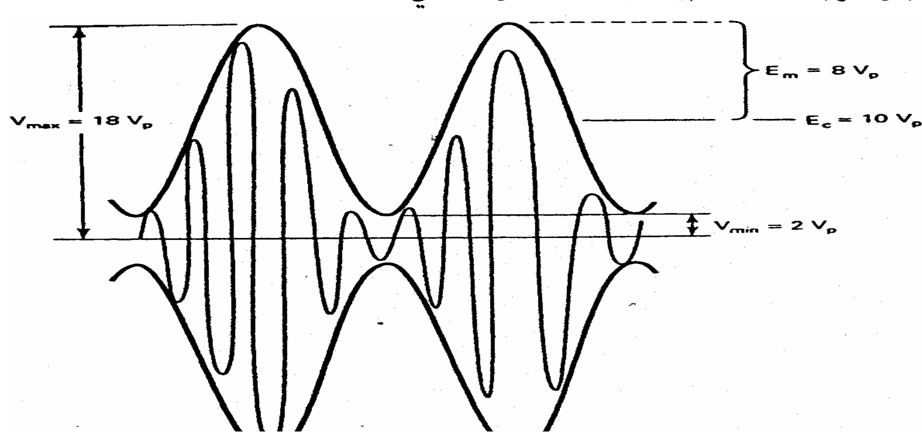
E_{LSF} : جهد الجانب السفلي [Volts]

نود أن التنبيه إلى أن نسبة التضمين تصل إلى 100% عندما $E_m=E_c$ و هذا يتضح من المعادلة (2-7).
كذلك يمكن ملحوظة أن $V_{min}=0$ عندما تصل نسبة التضمين 100% و هذا يتضح من المعادلة (2-9).
هذا الشرط موضح في الشكل التالي:



الشكل 5-2 يوضح موجة AM عندما تبلغ نسبة التضمين 100%.

مثال 2-2 من أجل موجة AM المبينة في الشكل التالي



أوجد ما يلي:

أ - السعة القصوى للجانب العلوي والسفلي.

ب - السعة القصوى للموجه الحاملة قبل التضمين.

ج - التغيير الأقصى في سعة الغلاف الخارجي لموجة AM

د - معامل التضمين.

هـ - نسبة التضمين.

حل مثال 2-2

أ - بتطبيق المعادلة (15-2) وبالرجوع إلى الشكل المعطى في المثال:

$$E_{USF} = E_{LSF} = \frac{1}{4}(V_{max} - V_{min}) = \frac{1}{2}(18 - 2) = 8V$$

ب - بتطبيق المعادلة (10-2)

$$E_c = \frac{1}{2}(V_{max} + V_{min}) = \frac{1}{2}(18 + 2) = 10V$$

أو تقرأ مباشرة من الشكل E_c=10V

ج - بتطبيق المعادلة (11-2)

$$E_m = \frac{1}{2}(V_{max} - V_{min}) = \frac{1}{2}(18 - 2) = 8V$$

د - بتطبيق المعادلة (6-2)

$$M = \frac{E_m}{E_c} = \frac{8}{10} = 0.8$$

هـ - بتطبيق المعادلة (7-2)

$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100\% = 0.8 \times 100\% = 80\%$$

٢-٥ توزيع جهد موجة AM

AM Voltage Distribution (AM) $V_{am(t)}$

كما هو معروف لكل موجة كهربائية تحمل في طياتها، جهد تيار، وطاقة، من خلال هذا الجزء نريد أن نعبر رياضياً عن توزيع جهد موجة AM. حتى يتسنى لنا ذلك، تعبر عن الجهد اللحظي الجيبي للموجه الحاملة قبل التضمين بالمعادلة الرياضية التالية:

$$V_c(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) \quad (2\text{-}16)$$

حيث

$V_c(t)$: هو الجهد اللحظي للموجة الحاملة (Volts)

E_c: السعة القصوى للموجةالحاملة (Volts)

f_c: تردد الموجة الحاملة

لقد مر معنا ما يلي:

أ - معدل الإعادة (repetation rate) لغلاف الخارجي لموجة AM يساوي تردد إشارة التضمين (المعلومات).

ب - سعة الغلاف الخارجي لموجة AM تتغير تبعاً لسعة إشارة التضمين.

ج - السعة القصوى لغلاف الخارجي لموجة AM تساوي E_m+E_c,

ومن هنا يمكن التعبير على السعة اللحظية لموجة AM بالعلاقة الرياضية التالية:

$$V_{am}(t) = \left[Ec + E_m \sin(2\pi f_m t)\right]\sin 2\pi f_c t \qquad (2\text{-}17)$$

حيث

$\left[Ec + E_m \sin(2\pi f_m t)\right]$: تمثل سعة الموجة المضمنة

E_m: التغيير الأقصى في الغلاف (Volts)

f_m: تردد إشارة التضمين (Hz)

من المعادلة (2.6) يمكن أن نكتب

$$E_m = mE_c \qquad (2\text{-}18)$$

بتعويض المعادلة (2.8) في المعادلة (2.15) نجد:

$$V_{am}(t) = \left[Ec + mE_c \sin(2\pi f_m t)\right]\sin(2\pi f_c t) \qquad (2\text{-}19)$$

يمكن كتابتها على الشكل التالي

$$V_{am}(t) = \left[1 + m \sin(2\pi f_m t)\right]E_c \sin(2\pi f_c t)$$

$$V_{am}(t) = E_c \sin(2\pi f_c t) + mE_c \sin(2\pi f_m t)(E_c \sin(2\pi f_c t)) \qquad (2\text{-}20)$$

❖ تذكرة

$$\sin\alpha \sin\beta = \frac{1}{2}\left[\cos(\alpha-\beta) - \cos(\alpha+\beta)\right] \qquad (2\text{-}21)$$

باستعمال المعادلة القصيرة (2-21) فإن المعادلة (2-20) يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t \qquad (2\text{-}22)$$

حيث

$E_c\, Sin(2\pi f_c t)$: يمثل الموجة الحاملة (Volts)

$-\frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t$: يمثل إشارة الجانب العلوي (Volts)

$\frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t$: يمثل شارة الجانب السفلي (Volts)

هناك عدة نقاط مهمة يمكن استخلاصها من المعادلة (2-22) وهي:

أ. سعة إشارة الموجة الحاملة بعد التضمين تساوي سعة الموجة الحاملة قبل التضمين.

$$Ec_{(\text{mod}\,ulated)} = Ec_{(un\,\text{mod}\,ulated)} \qquad (2\text{-}23)$$

ب. سعتا الجانب العلوي والسفلي متساويتان وترتبطان بمعامل التضمين وسعة الموجة الحاملة.

ج. عندما تبلغ نسبة التضمين 100%، فإن سعتا الجانب العلوي والسفلي تساوي كل واحدة منهما نصف سعة الموجة الحاملة ($\frac{E_c}{2}$).

ومن هنا نكتب:

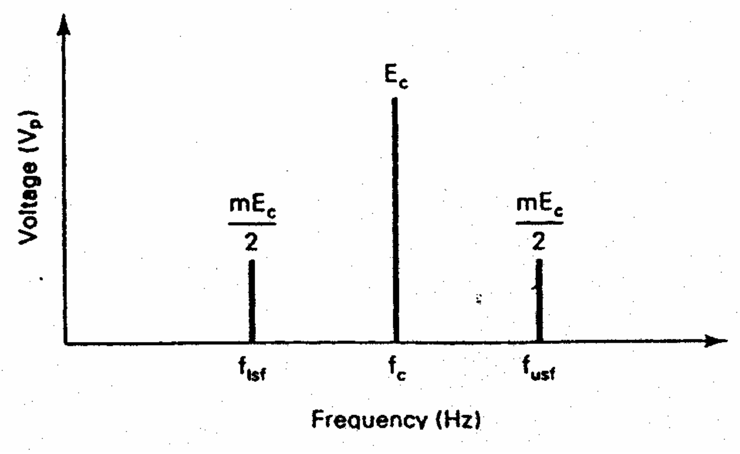
$$E_m = E_{usf} + E_{Lsf}$$
$$E_m = \frac{E_c}{2} + \frac{E_c}{2} = E_c$$

وبما أن:

$$V_{\max} = E_c + E_m = E_c + E_c = 2E_c$$
$$V_{\min} = E_c - E_m = E_c - E_c = 0$$

مما سبق، فإنه من الواضح أنه عندما يساوي معامل التضمين الواحد(m=1) فإن السعة القصوى للغلاف الخارجي هي $V_{max}= 2\ E_c$ والسعة الدنيا $V_{min}=0$، هذه الحالة موضحة في الشكل. 2-5.

د. إن الشكل 6-2 يمثل الطيف الترددي للنطاق الجانبي المزدوج ذي الموجة الحاملة الكاملة (AM DSBFC) وذلك بالرجوع إلى المعادلة (2-22)



الشكل 6-2 يوضح الطيف الترددي لجهد موجة AM DSBFC

هـ . آخر ملاحظة يمكن استنتاجها من المعادلة (2-22) وهي: عند كل بداية للدورة (cycle) فإن المركبتين الجانبيتين تصنعان بينهما زاوية 180° بينما الموجة الحاملة تصنع مع كل واحدة منهما **90°** وهذا ما يفسر المعنى الفيزيائي لإشارة السالب (-) التي يحملها الحد الخاص بالجانب العلوي في المعادلة (2-22).

مثال 3-2

أحد المدخلين لمعدل موجة AM هو عبارة عن الموجة الحاملة ذات تردد 500KHz ذات السعة $20V_p$. أما المدخل الثاني فهو مخصص لإشارة التضمين ذات تردد 10kHz والتي تكفي لإحداث التغيير في موجة الخرج قدره $\pm 7.5V_p$. أوجد ما يلي:

أ - تردد الجانب العلوي والسفلي.
ب - معامل التضمين والنسبة المئوية للتضمين.
ج - السعة القصوى للموجه الحاملة بعد التضمين.
د - جهد الجانب العلوي والسفلي.
هـ - السعة القصوى والدنيا للغلاف.
و - علاقة الموجة المضمنة.
ز - ارسم الطيف الترددي.
ح - ارسم الغلاف الخارجي.

حل مثال 3-2

أ -حسب المعادلتين (2-2) , (2-4) نكتب

$$f_{usf} = f_c + f_m = 500\ K + 10\ K = 510\ KHz$$
$$f_{Lsf} = f_c - f_m = 500\ K - 10\ K = 490\ KHz$$

ب -معامل التضمين ونسبة التضمين: حسب المعادلتين (2-6) ,(2-7) يكتب:

$$m = \frac{E_m}{E_c} = \frac{7.5}{20} = 0.375$$
$$M = \frac{E_m}{E_c} \times 100\,\% = \frac{7.5}{20} \times 100\,\% = 37.5\%$$

ج -حسب المعادلة (2-23)

$$Ec_{(\text{modulated})} = Ec_{(\text{unmodulated})} = 20V$$

د -من المعادلة (2-22) يمكن كتابة:

$$\mathrm{E_{USF}} = \mathrm{E_{LSF}} = \frac{mE_c}{2} = \frac{0.375 \times 20}{2} = 3.75V$$

هـ -حسب المعادلتين (2-8) , (2-9) يمكن كتابة:

$$V_{\max} = E_c + E_m = 20 + 7.5 = 27.5V$$
$$V_{\min} = E_c - E_m = 20 - 7.5 = 12.5V$$

و -علاقة الموجة المضمنة معطاة بالمعادلة (2-22) وهي:

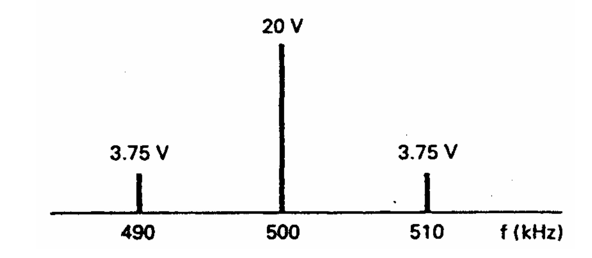
$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t$$

الآن نعوض بالمعطيات المتوفرة لدينا نحصل على:

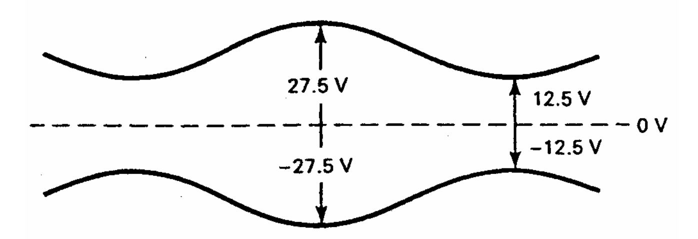
$$V_{am}(t) = 20 \sin(2\pi 500\ Kt) - 3.75 \cos(2\pi 510\ Kt) + 3.75 \cos(2\pi 490\ Kt)$$

وهي العلاقة المطلوبة.

ز -الطيف الترددي مبين بالشكل التالي:



ح -رسم الغلاف الخارجي مبين بالشكل اسفل



٢-٦ توزيع القدرة لموجة AM **AM Power Distribution**

في أي دائرة كهربائية فإن القدرة المستهلكة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{V^2}{R} \qquad (2\text{-}24)$$

أما القيمة المتوسطة للقدرة:

$$P_{av} = \frac{V_{rms}^2}{R} \qquad (2\text{-}25)$$

حيث

$$V_{rms} = \frac{V}{\sqrt{2}} \qquad (2\text{-}26)$$

نعوض المعادلة (2-26) في المعادلة (2-25) نجد

$$P_{av} = \frac{V^2}{2R} \qquad (2\text{-}27)$$

تبعاً للمعادلة (2-27) يمكننا استنتاج قيمة القدرة المتوسطة للموجه الحاملة المستهلكة في الحمل **R.**

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \qquad (2\text{-}28)$$

حيث:

P_c : طاقة الموجة الحاملة (Volts)

E_c: السعة القصوى للموجه الحاملة (Volts)

R: مقاومة الحمل (Ohms)

أما القدرة لكل من الجانب العلوي والسفلي.

$$P_{usf} = P_{Lsf} = \frac{\left(\frac{mE_C}{2R}\right)^2}{2R} = \frac{m^2 E_C^2}{8R} \qquad (2\text{-}29)$$

نعوض المعادلة (2-28) في المعادلة (2-29) نجد:

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C \qquad (2\text{-}30)$$

أما القدرة الكلية لموجة AM

$$P_T = P_C + P_{Usf} + P_{Lsf}$$

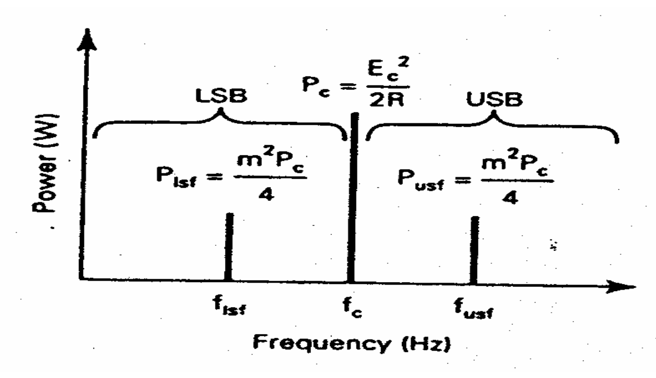
$$P_T = P_C + \frac{1}{4} m^2 P_C + \frac{1}{4} m^2 P_C \qquad (2\text{-}31)$$

$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right] P_C \qquad (2\text{-}32)$$

يمكن ملاحظة من المعادلة (2-31) أن الموجة الحاملة تحافظ على نفس القدرة بعد التضمين, أما المعادلة (2-32) تسمح لنا باستنتاج ما يلي :

أن القدرة الكلية تزداد بازدياد معامل التضمين.

تبعاً للمعادلة (2-31) يمكن رسم الطيف الترددي للقدرة الموضح في الشكل 2-7:



الشكل 7-2 يوضح الطيف الترددي لقدرة الموجة AM DSBFC وذلك باستعمال إشارة التضمين ذات أحادية التردد.

عندما يحدث التضمين 100% فإن :

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{P_C}{4} \qquad (2\text{-}33)$$

وذلك بتعويض قيمة m=1 في المعادلة (2-30)

أما القدرة الكلية المحمولة في كلا الجناحين

$$P_{TUsf} = \frac{P_C}{2} \qquad (2\text{-}34)$$

من المعادلتين (2-33) و (2-34) نستنتج ما يلي: عندما يحدث التضمين 100% فإن القدرة المحمولة في كل جانب تساوي ربع قدرة الموجة الحاملة أما القدرة المحمولة في كلا الجانبين فهي تصبح نصف قدرة الموجة الحاملة.

هنا نشير بأن إحدى العيوب الرئيسة عند الإرسال باستعمال AM BSBFC أن المعلومات محتواه في الجانبين بالرغم من أن معظم القدرة تستهلك بواسطة الموجة الحاملة, لكن فعلياً فإن قدرة الموجة الحاملة لا تضيع كلية بل جزء منها يسمح باستعمال دائرة المفكك بسيطة وبأقل تكلفة وهذا يعتبر في حد ذاته أحد الخواص المميزة لموجة AM DSBFC.

مثال 4-2

وليكن لدينا المعطيات التالية لموجة AM DSBFC :

سعة الموجة الحاملة $10V_p$, مقاومة الحمل 10w والتضمين تم عند 100%:

أوجد ما يلي:

أ. قدرة الموجة الحاملة.

ب. قدرة كل من الجانبين العلوي والسفلي

ج. القدرة الكلية للجانبين.

د. القدرة الكلية للموجه المضمنة.

هـ. ارسم الطيف الترددي للقدرة .

حل مثال 4-2

أ. باستخدام المعادلة (28-2)

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \times 10} 5W$$

ب. باستخدام المعادلة (30-2)

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m^2 P_C = \frac{1}{4}(1^2)5 = 1.25W$$

حيث m=1 لأن التضمين تم عند 100%.

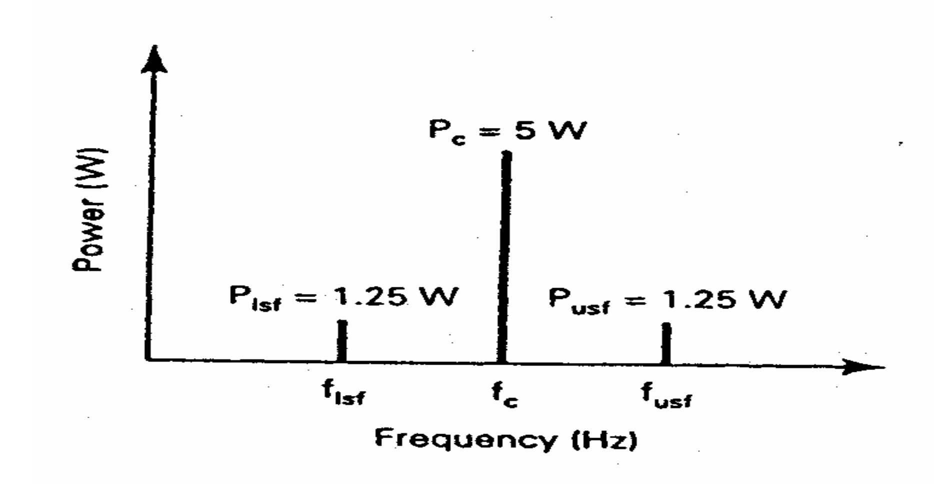
جـ.

$$P_{TUsf} = \frac{P_C}{2} = \frac{5}{2} = 2.5W$$

د. باستخدام المعادلة (30-2)

$$P_T = \left[1 + \frac{m^2}{2}\right] P_C = (1 + \frac{1^2}{2}) \times 5 = 7.5W$$

هـ. الطيف الترددي للقدرة



٢-٧ حساب تيار موجة AM — AM Current Calculations

إنه من الضروري حساب تيار كل من الموجة الحاملة والموجه المضمنة ثم يمكن استعمالهما من أجل حساب معامل التضمين والنسبة المئوية. هناك طريقة بسيطة من أجل الحساب وذلك بقياس تيار الهوائي بوجود إشارة التضمين ثم نعيد قياسه بدون إشارة التضمين.

العلاقة بين تيار الموجة الحاملة والموجه المضمنة هي كالتالي:

$$\frac{P_t}{P_C} = \frac{I_t^2 R}{I_C^2 R} = \frac{I_t^2}{I_C^2} \qquad (2\text{-}35)$$

ومن جهة ثانية فإن

$$\frac{P_t}{P_C} = \frac{\left(1 + \frac{m^2}{2}\right) P_C}{P_C} = 1 + \frac{m^2}{2} \qquad (2\text{-}36)$$

من المعادلتين السابقتين نجد:

$$\frac{I_t}{I_C} = 1 + \frac{m^2}{2} \qquad (2\text{-}37)$$

ومن المعادلة (2-35) نجد

$$I_T = I_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}} \qquad (2\text{-}38)$$

حيث:

I_t: تيار الموجة المضمنة (A)

I_c: تيار الموجة الحاملة (A)

مثال 2-5:

إذا كانت طاقة الموجة الحاملة 10w ومقاومة الحمل 10w وتحت نسبة التضمين 100% احسب تيار الموجة المضمنة (AM DSBFC)

حل المثال 2-5

باستخدام المعادلة (2-38)

$$I_T = I_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$$

يجب حساب I_c حتى يتسنى لنا حسابI_T

$$P_C = I_C R \rightarrow I_C = \sqrt{\frac{P_C}{R}} = \sqrt{\frac{10}{10}} = 1A$$

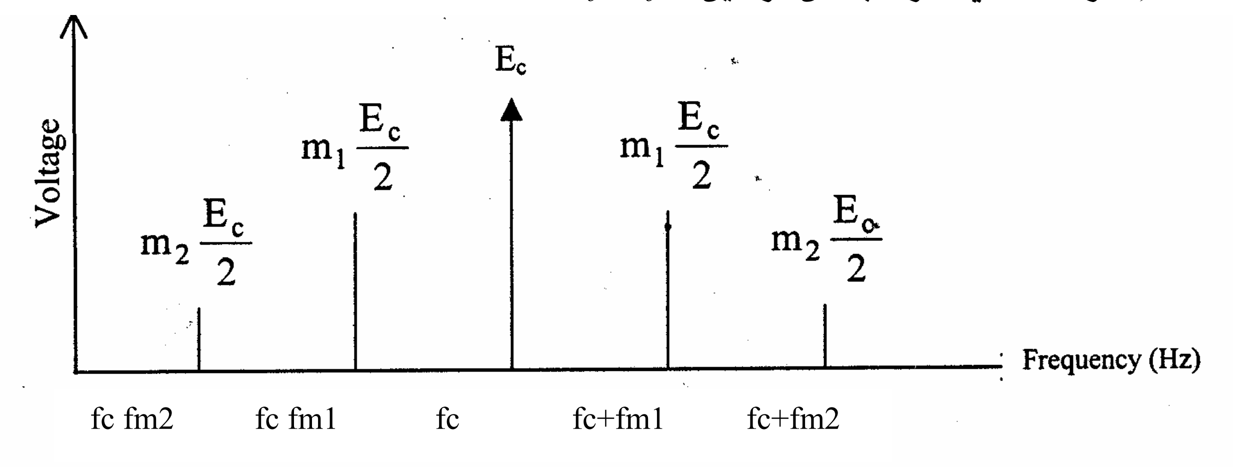
$$I_T = (1)\sqrt{(1 + \frac{1^2}{2})} = 1.225 \ A$$

٢-٨ التضمين بواسطة الإشارة المركبة Modulation by a Complex information

في الأجزاء السابقة من هذه الوحدة , قمنا بدراسة الطيف الترددي, وعرض النطاق, ومعامل التضمين, وتوزيع كل من الجهد والقدرة وهذا بواسطة استعمال إشارة التضمين ذات أحادية التردد.

أما من الناحية التطبيقية, ففي الغالب تكون إشارة التضمين مركبة أي تكون عبارة عن مجموعة من الإشارات الجيبية ذات سعات وترددات مختلفة.

لنفترض إن إشارة التضمين تحتوي على ترددين (f_{m1}, f_{m2}) ففي هذه الحالة فإن الموجة الناتجة من عملية التضمين ستحتوي على مركبة الموجة الحاملة بالإضافة إلى مجموعتين من الأجنحة حيث ستقع على مسافات متساوية وبشكل تناظري حول مركبة الموجة الحاملة. والشكل 8-2 يوضح الطيف الترددي الجهد في حالة إشارة التضمين مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2}.



الشكل 8-2. الطيف الترددي للجهد نتيجة استعمال إشارة الضمين مركبة وعملية التضمين.

بالرجوع إلى المعادلة (2-22)التي استخرجناها وبأخذ بعين الاعتبار الشكل 8-2 يمكن استنتاج معادلة الجهد لموجة AM في حالة إشارة التضمين تكون مركبة من ترددين f_{m1}, f_{m2} .

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{m_1 E_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_{m1})t + \frac{m_1 E_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_{m1})t - \frac{m_2 E_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_{m2})t + \frac{m_2 E_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_{m2})t \qquad (2\text{-}39)$$

حيث يمكن تعميم هذه المعادلة لإشارة التضمين التي تتكون من أكثر من ترددين.

عند استعمال إشارات التضمين ذات ترددات مختلفة في تضمين الموجة الحاملة على التوالي فإن معامل التضمين في هذه الحالة يعطى بالعلاقة التالية:

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2} \qquad (2\text{-}40)$$

حيث

m_t: المعامل الكلي للتضمين

$m_1, m_2, ... m_n$: معاملات التضمين لإشارات الدخل.

هذا يقودنا إلى إدخال تغييرات طفيفة على معادلات القدرة التي درستها في الجزء السادس في حالة الإشارة ذات أحادية التردد, ففي حالة الإشارة المركبة تكتب كما يلي:

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2}\right] P_C \qquad (2\text{-}41)$$

$$P_{Usf} = P_{Lsf} = \frac{1}{4} m_t^2 P_C \qquad (2\text{-}42)$$

$$P_{tsb} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C \qquad (2\text{-}43)$$

مثال 2-6

لدينا AM DSBFC ذو الموجة الحاملة ذات القدرة 200w ضمنت على التوالي بواسطة ثلاث إشارات التضمين ذوات معاملات التضمين التالية:

$m_1 = 0.2$, $m_2 = 0.4$, $m_3 = 0.5$.

أوجد ما يلي:

أ. المعامل الكلي للتضمين.

ب. القدرة الكلية للجانبين.

ج. القدرة الكلية المرسلة

حل المثال 2-6

أ. باستعمال المعادلة (2-40) تكتب

$$m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} = \sqrt{(0.2)^2 + (0.4)^2 + (0.5)^2} = 0.67$$

ب. باستعمال المعادلة (2-43)

$$P_{tsb} = \frac{1}{2} m_t^2 P_C = \frac{1}{2}(0.67)^2(200) = 22.445W$$

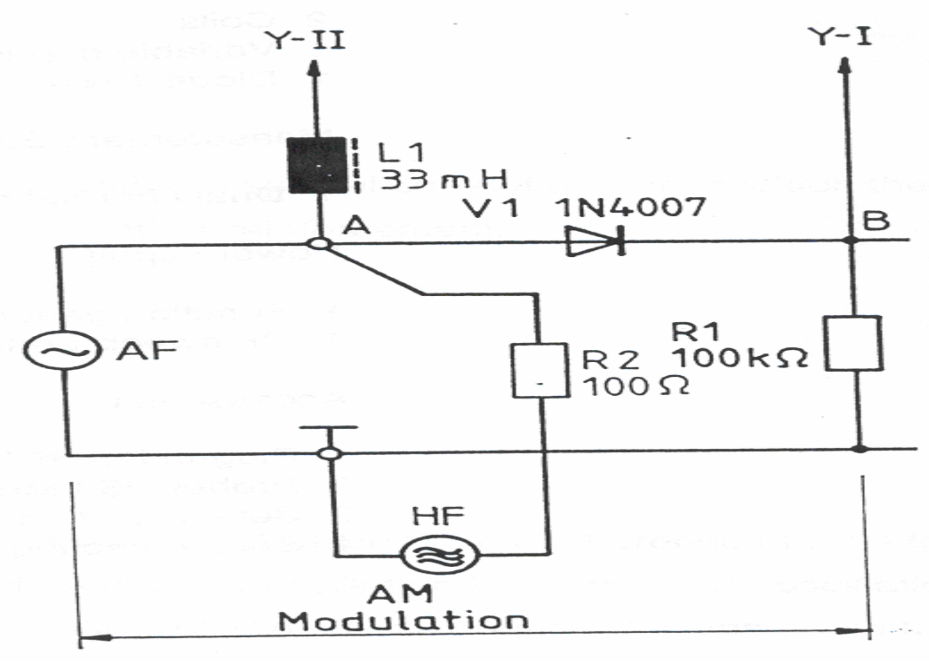
جـ. باستعمال المعادلة (2.41)

$$P_T = \left[1 + \frac{m_t^2}{2}\right] P_C = \left[1 + \frac{(0.67)^2}{2}\right](200) = 122.445\,W$$

٢-٩ دائرة المعدل ودائرة الكاشف AM Modulator and Demodulator circuits

أ -دائرة المضمن AM Modulator Circuit

أعتقد الآن السؤال المطروح، كيف نستطيع إنتاج موجة AM عملياً. نلاحظ أن عملية التضمين تنتج إزاحة لتردد إشارة المعلومات. هذا يعني ترددات جديدة لا بد أن تنتج. واستناداً إلى الدراسة النظرية للدوائر، لا يمكن إنتاج ترددات جديدة باستعمال الدوائر الخطية. ومن هنا حتى يتسنى لنا إنتاج موجة AM لابد من استعمال عناصر إلكترونية غير خطية. وهناك عدة دوائر يمكنها إنتاج موجة AM. إحدى هذه الدوائر التي يمكن استعمالها في إنتاج موجة AM هي مبينة في الشكل التالي:



الشكل 2-9: معدل باستعمال صمام ثنائي غير خطي

الآن نريد أن نثبت رياضياً على أن معادلة الخرج $V_{out}(t)$ تشبه إلى حد ما المعادلة (2-22) الخاصة بموجه AM فإذا استطعنا أن نبرهن ذلك فمعنى ذلك أن الدائرة في الشكل 9-2 ممكن أن تستعمل في إنتاج موجة AM. ومن أجل القيام بذلك، نعتبر أن المنحنى المميز للصمام الثنائي غير الخطي يعبر عليه بالمعادلة الرياضية التالية:

$$V_{out}(t) = C_1 V_{in}^1(t) + C_2 V_{in}^2(t) + C_3 V_{in}^3(t) + ... \qquad (2\text{-}44)$$

واضح من دائرة الشكل 9-2

$$V_{in}(t) = E_m \sin(2\pi f_m)t + E_C \sin(2\pi f_C)t \qquad (2\text{-}45)$$

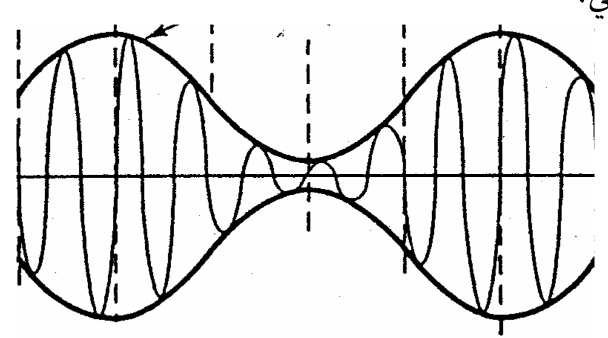
نعوض المعادلة (2-44) في المعادلة (2-43) مع إهمال الحد من الدرجة الثالثة نجد:

$$V_{out}(t) = C_1\left[E_m \sin(2\pi f_m)t + E_C \sin(2\pi f_C)t\right]^2 + C_2\left[E_m \sin(2\pi f_m)t + E_C \sin(2\pi f_C)t\right]^2 \qquad (2\text{-}46)$$

بتفكيك هذه المعادلة واستعمال الخصائص الشهيرة للدوال الجيبية مع إعادة ترتيب الحدود تبعاً للمعادلة 22-2 نجد:

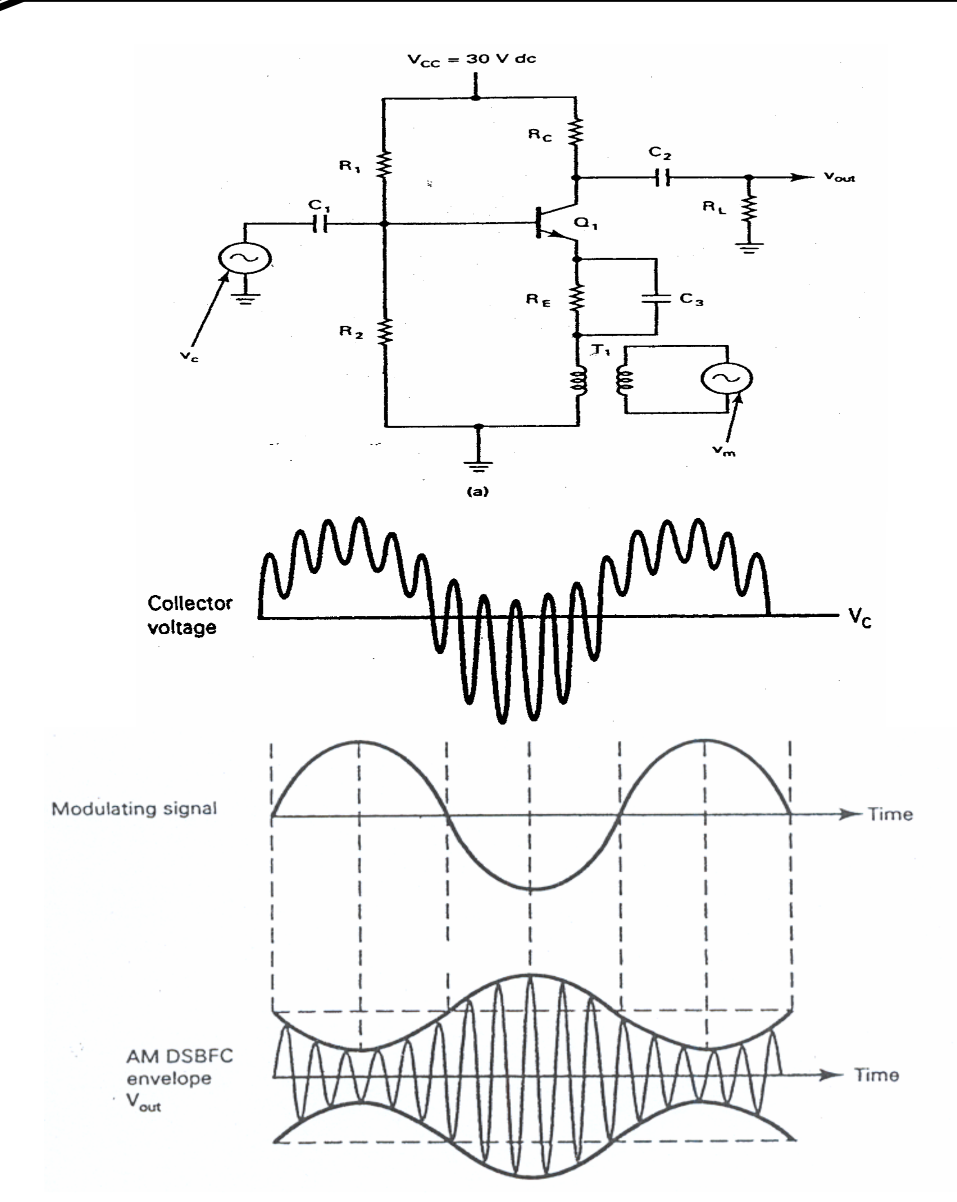
$$\begin{aligned} V_{out}(t) &= C_1 E_C \sin(2\pi f_C)t - C_2 E_m E_C \cos 2\pi(f_C + f_m)t + \\ & C_2 E_m E_C \cos 2\pi(f_C - f_m)t + C_1 E_m \sin(2\pi f_m)t + C_2 E_m^2 \sin^2(2\pi f_m t) + \\ & C_2 E_C^2 \sin^2(2\pi f_C t) \end{aligned} \qquad (2\text{-}47)$$

لو تأملنا بعمق في المعاملة 47-2 لوجدناها تحتوي على ترددات جديدة (F_c+F_m), (F_c-F_m) وهي نفس الترددات المحتواة في موجة AM، ثم الحدود الثالثة الأولى من المعادلة (2-47) هي نفس الحدود التي تتشكل منها المحاولة (2.22) أما الحدود غير المرغوبة فيها في المعادلة (2-47) يمكن التخلص منها بواسطة الترشيح وبالتالي المعادلة (2-47) تنطبق على صيغة المعادلة (2-22) ومن هنا تستنتج موجة AM كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 10-2: إنتاج موجة AM بواسطة دائرة المعدل باستخدام صمام ثنائي غير خطي.

هناك دوائر أخرى يمكن استعمالها لإنتاج موجة AM على سبيل الذكر لا الحصر الدائرة الموضحة في الشكل التالي:



الشكل 11-2: إنتاج موجة AM باستعمال مكبر الباعث المشترك الترانزستور (npn).

ب. دائرة كشف التضمين AM Demodolator Circuit

إن كشف الموجة المضمنة لـ AM أو ما يسمى استخلاص إشارة التضمين من الموجة الحاملة, يمكن أن تنجز بإحدى الطرق الثلاث: الأولى تسمى كشف المقوم (Rectifier Circuit) والثانية تسمى كشف الغلاف (Envelope Detector) والثالثة تسمى كشف قانون التربيع (Square –law detector)

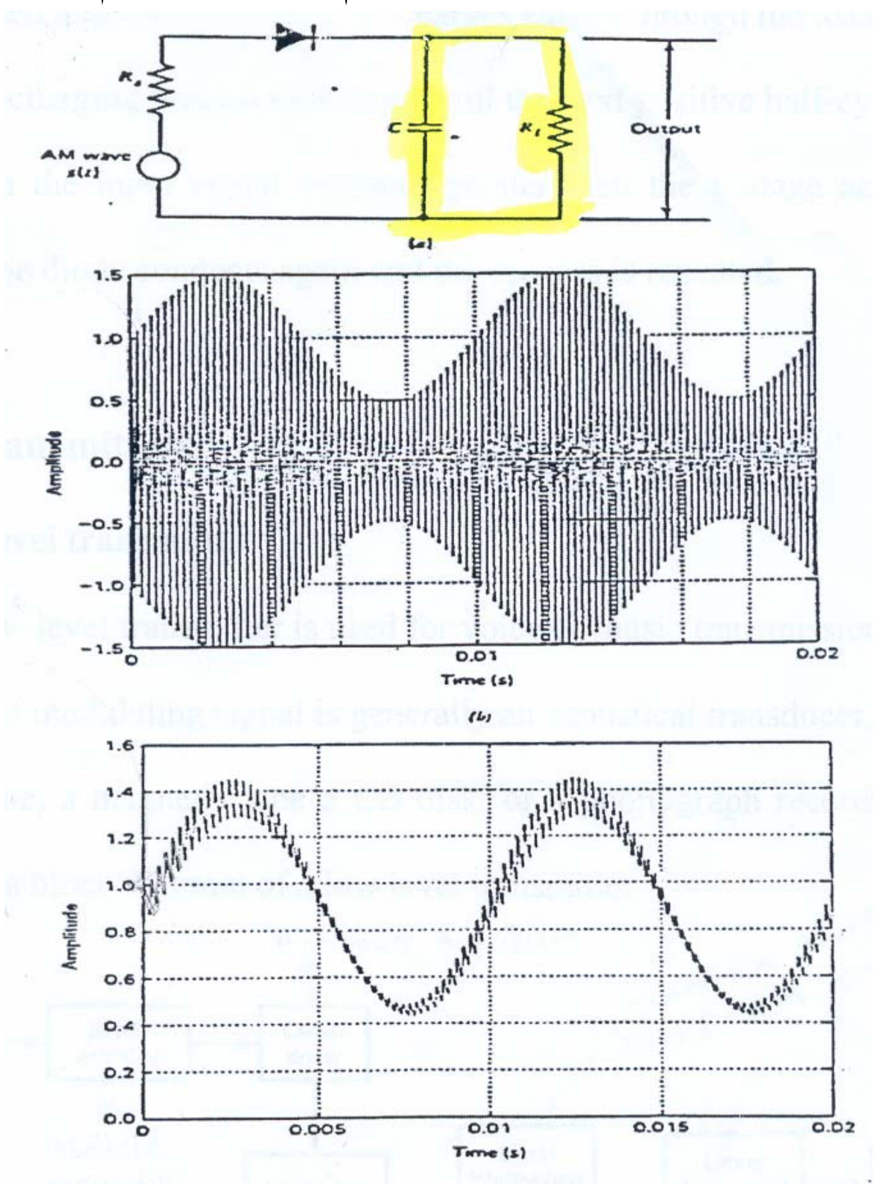
هنا سنكتفي بعرض الطريقة الثانية وهي:

كاشف الغلاف – Envelope Detector

هذه الطريقة تعتمد على اكتشاف الغلاف الخارجي لموجة AM بواسطة استعمال الدائرة الموضحة في الشكل التالي 12-2:

عمل الدائرة The Function of the circuit

في هذا النوع من الكاشف تكون الإشارة الناتجة عند مخرجه حصيلة تتبع غلاف الإشارة المضمنة AM الداخلة إليه (Am as input wave). ويمكن شرح ذلك من الدائرة الإلكترونية المبينة في الشكل (2-12) والتي تعمل ككاشف غلاف. فخلال الدورة الموجبة من الإشارة الداخلة يتم شحن المكثف C حتى تصل إلى ذروة جهد الإشارة الداخلة ولما تقل قيمة الإشارة الداخلة عن القيمة التي وصل إليها جهد المكثف يفصل عندئذ الصمام الثنائي. وذلك لأن جهد المكثف في هذه اللحظة (والذي يساوي تقريباً ذروة الإشارة الداخلة) أكبر من قيمة الإشارة الداخلة مما يؤدي إلى فتح الصمام الثنائي. وبعدها يبدأ المكثف بالتفريغ عبر المقاومة R بمعدل منخفض. وخلال الدورة الموجبة التالية والتي عندها تكون قيمة الإشارة الداخلة أكبر من جهد المكثف يوصل الصمام مرة أخرى. ومن ثم يبدأ المكثف مرة أخرى



الشكل 2-12. (أ) دائرة كاشف الغلاف – ب – موجة AM جـ - التقاط الغلاف الخارجي (مخرج الدائرة).

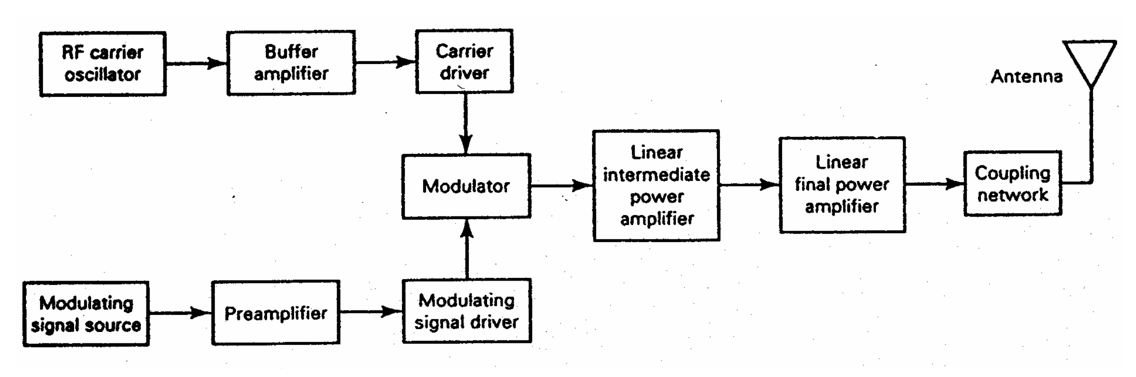
بالشحن حتى يصل إلى ذروة هذه الدورة الجديدة. وخلال الدورة السالبة يبدأ المكثف مرة أخرى بالتفريغ حتى ينخفض جهده قليلاً. ولهذا يتم شحن المكثف خلال نحو دورة موجبة حتى يصل جهده إلى ذروة الإشارة الداخلة, ولكن جهده ينخفض ببطء حتى تصل الدورة الموجبة التالية وهكذا يكون الجهد عند مخرج الدائرة متتبعاً لغلاف الإشارة الداخلة (موجه AM) وهذا مبين من خلال الشكل (جـ) 2-12.

٢-١٠جهاز الإرسال (المرسل) AM Transmitters

هناك نوعان من أجهزة الإرسال:

أ. المرسل ذو مستوى مخفض (Low Level transmitter)

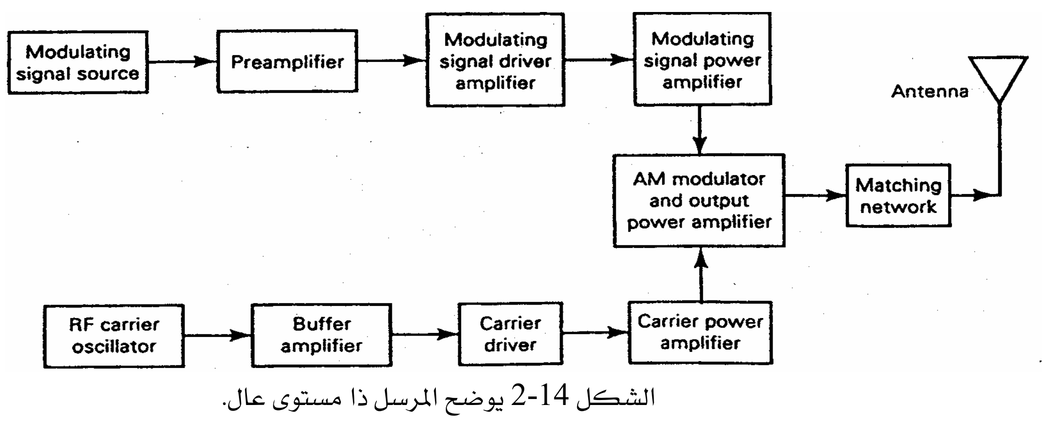
هذا النوع من الأجهزة يستعمل من أجل إرسال الإشارات الصوتية (100kHz – 300kHz), وغالباً ما يكون المنبع عبارة عن آلة يمرر من خلالها الصوت مثال: الميكروفون (Microphone), أو قرص مغناطيسي (CD Rom) أو مسجل صوت (Phonograph record). الشكل 2-13 يوضح مجسم المرسل ذي مستوى منخفض.



الشكل 2-13 يوضح المرسل ذا مستوى منخفض

ب. المرسل ذو مستوى عال (High Level transmitter)

في هذا النوع من الضروري أن تكون قدرة إشارة التنفيذ في مستوى أعلى مقارنة بالمرسل ذي المستوى المنخفض. وهذا يبدو واضحاً من خلال إضافة مكبر التضخيم ثالث من أجل تكبير إشارة التضمين انظر الشكل 2-14.



الشكل 2-14 يوضح المرسل ذا مستوى عال.

تمارين

التمرين الأول

من أجل مضمن الـ AM DSBFC استعملنا موجة حاملة ذات تردد 100kHz وإشارة التضمين ترددها الأقصى 5kHz.

أوجد ما يلي:

أ. حدود التردد لكل من عرض النطاق الجانب العلوي وعرض النطاق الجانب السفلي.

ب. عرض النطاق.

ج. التردد الأقصى والأدنى لكل من الجانبين عندما يصبح تردد إشارة المعلومات 3kHz.

د. ارسم الطيف الترددي للخرج.

التمرين الثاني

ما هو التردد الأقصى لإشارة التضمين الذي يمكن أن يستعمل مع نظام AM DSBFC ذي عرض نطاق 20kHz.

التمرين الثالث

إذا كانت السعة المتوسطة للموجه المضمنة تساوي $20V_p$ ومقدار تغير سعتها هو ±5v.

أوجد ما يلي:

أ - السعة القصوى والدنيا للغلاف الخارجي.

ب - معامل التضمين.

ج - النسبة المئوية للتضمين (إذا كان $E_c=20V_p$, $E_m = \pm 5V$).

التمرين الرابع

ارسم شكل الغلاف الخارجي للتمرين الثالث مع تعيين كل القيم الضرورية على الرسم.

التمرين الخامس

من أجل معامل التضمين $m=0.2$ قدرة الموجة الحاملة قبل التضمين $P_c=1000w$

أوجد ما يلي:

أ. القدرة المحتواة في كلا الجانبين.

ب. قدرة كل جانب (الجانب العلوي والسفلي).

ج. قدرة الموجة الحاملة المضمنة.

د. القدرة الكلية المرسلة.

المملكـــة العربيـــة الســـعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



أساسيات الاتصالات

تضمين السعة (الاتساعي) استقبال

تضمين السعة (الاتساعي) استقبال

٣

الوحدة الثالثة: تضمين السعة (الاتساعي) استقبال

Amplitude Modulation Reception

- **الهدف**

عند نهاية الوحدة فإن المتدرب بإمكانه:

أ. إعداد مخطط نموذجي لجهاز الاستقبال.

ب. شرح العناصر الأساسية لجهاز الاستقبال حتى يقوم بوظيفته.

ج. تعداد أنواع أجهزة الاستقبال الخاصة بموجة AM وشرح وظيفة كل نوع.

- **محتوى هذه الوحدة:**

٣ -١ مقدمة.

٣ -٢ خصائص جهاز الاستقبال (المرسل).

٣ -٣ عناصر (وسايط) جهاز الاستقبال.

٣ -٤ أنواع أجهزة الاستقبال الخاصة بـ AM.

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة :4 ساعات

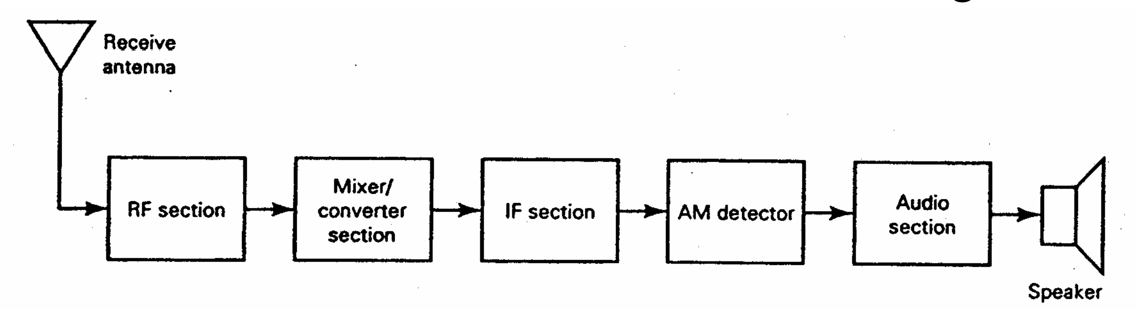
٣-١ مقدمة Introduction

يعتبر استقبال تضمين السعة الذي يتم في جهاز الاستقبال هو عملية عكسية لعملية التضمين التي تتم في جهاز الإرسال.

إن مهمة جهاز استقبال موجة AM هو تحويل الموجة المضمنة إلى إشارة معلوماتية أصلية. إنه لمن الضروري أن يكون جهاز استقبال موجة AM قادراً على الاستقبال، والتكبير، وتفكيك موجة AM. كذلك لا بد أن يكون هذا الجهاز قادراً على تحديد عرض النطاق الكلي لطيف ترددات موجات المذياع (RF) إلى عرض نطاق خاص من الترددات. هذه العملية تدعى ضبط طنين جهاز الاستقبال (المستقبل).

حتى يتسنى الفهم الكلي لعملية التفكيك أو الاستخلاص (Demodulation)، إنه من الضروري أن يفهم مبدئياً المصطلحات الخاصة التي تستعمل في وصف الخصائص المميزة لجهاز الاستقبال (Receiver).

إن الشكل 1-3 يوضح مجسماً مثالياً مختصراً لجهاز استقبال موجة AM.



الشكل 1-3 مجسم مختصر لجهاز استقبال موجة AM

٣-٢ الخصائص المميزة لجهاز استقبال موجة AM Characteristics of AM Receiver

إن من أهم الخصائص التي يتميز بها جهاز استقبال موجة AM والتي تساعد على فهم هذا الجهاز هي:

أ -قسم ترددات المذياع The RF Section

وأهم خصائص هذا القسم هي:

١. كشف موجات المذياع (RF).
٢. تحديد عرض نطاق موجات المذياع .
٣. تضخيم موجات المذياع المستقبلة.

ب -قسم الدمج والتحويل The Mixer and Converter Section

يتميز هذا القسم بإنه يقوم بتخفيض وتحويل ترددات موجات المذياع إلى ترددات وسطية

(Intermediate Frequencies (IF)

ج -قسم الترددات الوسطية IF

يتميز هذا القسم بعمليتي التضخيم والاختيار.

د -قسم كاشف الغلاف لموجة AM.

يتميز هذا القسم باستخلاص إشارة التضمين من الموجة المضمنة ، وتحويل موجة AM إلى موجة المعلومات الاساسية.

هـ -القسم الصوتي

يتميز هذا القسم بتضخيم الإشارة المستخلصة.

٣-٣ عناصر جهاز الاستقبال Receiver Parameters

العناصر التالية تستعمل من أجل تقييم مدى قدرة جهاز الاستقبال باستخلاص إشارة التضمين بنجاح من الموجة المضمنة والتي في الغالب تكون من نوع موجات المذياع (RF).

أ -الاختيارية (Selectivity)

عنصر الاختيارية يستعمل من أجل قياس ما مدى قدرة جهاز الاستقبال على تغيير عرض نطاق معطى من الترددات ورفض البقية.

ب -تحسين عرض النطاق Bandwidth Improvement

هو عبارة عن تخفيض في نسبة الضوضاء والتي يمكن الحصول عليها بواسطة تخفيض في عرض النطاق.

كما يمكن التعبير رياضياً على تحسين عرض النطاق بالمعادلة التالية:

$$B_I = \frac{B_{RF}}{B_{IF}} \qquad (3-1)$$

حيث:

B_I: تحسين عرض النطاق [بدون وحدة]

B_{RF}: عرض نطاق موجات المذياع [Hz]

B_{IF}: عرض نطاق الموجات الوسطية [Hz]

إن عملية تحسين عرض النطاق نتيجة تخفيض في شكل الضوضاء يطابقها فعل يسمى تحسين في شكل الضوضاء والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$NF_i = 10\ Log\ B_I \qquad (3\text{-}2)$$

حيث

NF_i: تحسيناً في شكل الضوضاء [decibel]

مثال 1-3

أوجد تحسين في شكل الضوضاء (NF_i) لجهاز استقبال موجة AM حيث عرض نطاق موجات المذياع تساوي 200kHz وعرض نطاق الترددات الوسطية تساوي 10kHz.

الحل

باستعمال المعادلتين (1-3) , (2-3) تكتب

$$NF_i = 10\ Log\ B_I = 10\,Log\,\frac{B_{RF}}{B_{IF}} = 10Log\,\frac{200}{10} = 13dB$$

جـ -الحساسية Sensitivity

حساسية جهاز الاستقبال هي القيمة الصغرى لتردد إشارة المذياع التي يمكن التقاطها عند دخل المستقبل والتي بإمكان الجهاز إنتاج الإشارة المعلوماتية الآلية المستخلصة.

د -المجال الديناميكي للقدرة Dynamic Power range

المجال الديناميكي هو عبارة عن مجال لطاقة الدخل، من خلاله يكون جهاز الاستقبال قادراً على استقبال وتحليل الإشارة.

هـ -عامل الدقة Fidelity Factor

عامل الدقة يقوم بقياس ما مدى قدرة نظام الاتصالات على إنتاج صورة مطابقة تماماً لإشارة المعلومات عند خرج جهاز الاستقبال.

هناك ثلاثة أشكال ممكن أن تقلل من دقة نظام الاتصالات

١. التشوه في السعة: يحدث هذا النوع من التشوه عندما تتلف سعة الموجة المضمنة بواسطة الضوضاء.
٢. التشوه في التردد: يحدث هذا النوع من التشوه عندما يتلف تردد الموجة بواسطة الضوضاء.
٣. التشوه في الطور: يحدث هذا النوع من التشوه عندما يتلف طور الموجة المضمنة بواسطة التردد.

و -عامل الضياع في الدخل Insertion Loss (IL)

عامل الضياع في الدخل هو عبارة عن نسبة القدرة المحولة إلى الحمل في دائرة بوجود مرشح إلى قدرة المحولة إلى الحمل مع عدم وجود المرشح.

ويعرف بالعلاقة التالية:

$$IL = 10 \, Log \, \frac{P_{out}}{P_{in}} \qquad (3\text{-}3)$$

ي -درجة حرارة الضوضاء والدرجة المكافئة للضوضاء

(Noise Temperature and Equivalent Noise Temperature)

درجة حرارة الضوضاء: يعبر عنها رياضياً بالعلاقة التالية:

$$T = \frac{N}{KB} \qquad (3\text{-}4)$$

حيث:

T: درجة حرارة الضوضاء [Kelvin]

N: طاقة الضوضاء [watts]

K: ثابت بولتزمان $K = 1.38 \times 10^{-23} \left(\frac{Joules}{Kelvin} \right)$

B: عرض نطاق (Hertz)

ك -درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Te)

هي عبارة عن مؤشر يدل على انخفاض نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal to noise ratio) أثناء صدور الإشارة خلال جهاز الاستقبال. فكلما قلت درجة الحرارة المكافئة للضوضاء كلما دل على جودة جهاز الاستقبال. والقيم المثالية لـ T_e تتراوح بين 20^o لأجهزة استقبال ذات الجودة إلى غاية 1000^o لأجهزة الاستقبال ذات ضوضاء عالية.

يعبر رياضياً على T_e عند دخل جهاز الاستقبال بالعلاقة التالية:

$$T_e = T(F-1) \qquad (3\text{-}5)$$

Te: درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Kelvin)

T : درجة حرارة الوسط (Kelvin)

F: معامل الضوضاء (بدون وحدة).

٣-٤ أنواع أجهزة الاستقبال لموجة AM

هناك نوعان من أجهزة المذياع للاستقبال:

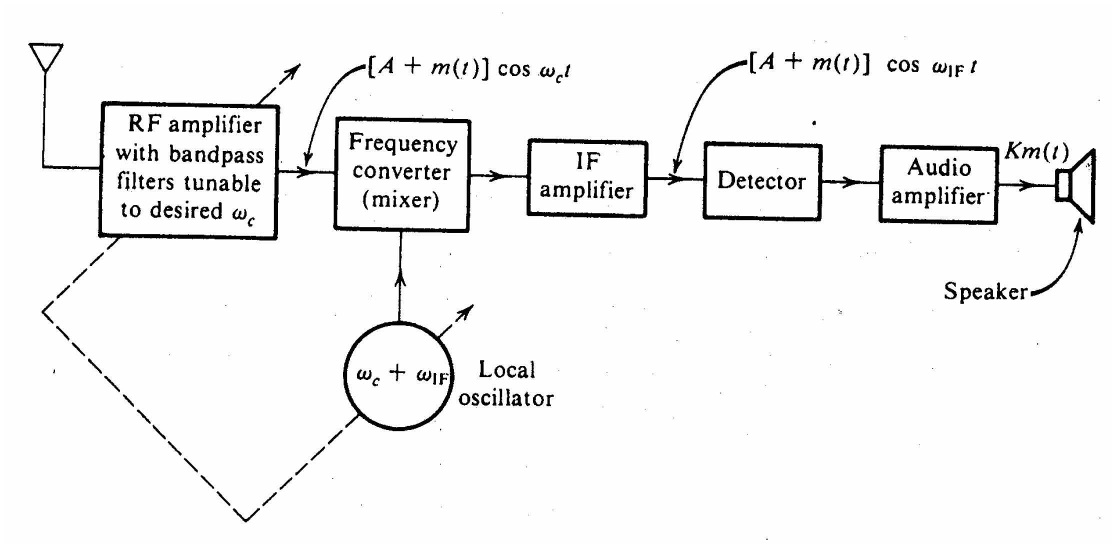
أ -أجهزة الاستقبال المتزامنة Coherent receivers

يشترط في هذا النوع من الأجهزة أن تكون الترددات المنتجة في قسم الاستقبال والتي تستعمل في عملية الكشف (أي استخلاص إشارة المعلومات الأصلية) متزامنة مع الترددات المنتجة من طرف المذبذب (Oscillator) في قسم الإرسال.

ب -أجهزة الاستقبال غير المتزامنة Non coherent receivers

في هذا النوع من الأجهزة يحتمل أن لا تنتج ترددات أو إن استعملت ترددات من أجل الكشف فإنها غير مرتبطة وليس لها أي علاقة مع تردد الموجة الحاملة الخاصة بقسم الإرسال.

ومن الأمثلة الشائعة على هذا النوع من أجهزة الاستقبال هو ما يعرف بـ: جهاز استقبال تضمين السعة بالفعل المتغاير الفوقي (The Super heterodyne AM receiver) والمبين في الشكل 2-3 و يمكن وصف عملة كمايلي:.



الشكل 2-3 يوضح جهاز استقبال بالفعل المتغير الفوقي

يعرف جهاز استقبال المذياع المستخدم في تصنيف الاتساع عن طريق النقل المتغير بالفعل الفوقي (سوبر هيتترودداين) حيث يتكون هذا الجهاز الموضح في الشكل (2-3)، من الأقسام التالية: قسم تردد الراديو، ومغير التردد، ومضخم الترددات الوسطية، وكاشف الغلاف، ومضخم الترددات السمعية.ويقوم بالتقاط المحطة المرغوبة عن طريق تغيير طنين المرشح حتى يوافق النطاق الترددي الصحيح.

أما القسم التالي فهو مغير التردد الذي ينقل الموجة الحاملة من ترددها f_c إلى تردد متوسط وثابت عند القيمة 455 كيلو هرتز. ويستخدم لهذا الغرض مذبذب موضعي قيمة تردده F_{LO}، بحيث يكون هذا التردد أكبر دائماً من تردد الموجة الحاملة القادمة(F_c) بمقدار 455 كيلوهرتز أي $F_{LO}=F_c+F_{IF}$ حيث

$(F_{IF} = 455kHz)$. ويتحكم في طنين المذبذب الموضعي وطنين مرشح المذياع معاً عن طريق تدوير (مفتاح) واحد. وهناك مكثفات للطنين في دوائر كلا القسمين, رصت جميعاً وصممت لكي يكون تردد الطنين في المذبذب الموضعي أكبر من تردد الطنين في مرشح المذياع بقيمة قدرها 455 كيلوهرتز, وهذا بالتالي يعني أن تردد كل محطة يتم استقبالها بالمذياع سيتغير إلى تردد ثابت قيمته 455 كيلوهرتز, وذلك بواسطة مغير التردد. والسبب نقل تردد جميع المحطات المرغوبة إلى التردد الثابت 455 كيلو هرتز هو ضمان الحصول على انتقائية كافية. حيث يصعب تصميم مرشحات مثالية لإمرار الترددات العالية جداً, وبشكل خاص إذا كان هذا المرشح من النوع الذي يمكن تغير طنينه. وعلى هذا, لن يتمكن مرشح المذياع من تقديم انتقائية كافية مما يتسبب في حصول تداخل مع القناة المجاورة. ولكن ينقل تردد الإشارة القادمة إلى تردد متوسط بواسطة مغير التردد, فإن مضخم الترددات المتوسطة الذي يتمتع بانتقائية جيدة يقوم حينئذ بزيادة تكبيرها وذلك لأن قيمة تردد مضخم التردد المتوسط منخفضة نسبياً وثابتة عند قيمة محددة. ولهذا فبالرغم من احتواء مدخل مضخم الترددات المتوسطة على مركبات القناة المجاورة إلا أن هذا المضخم بانتقائيته المرتفعة سيقوم بإزالة هذا التداخل وتضخيم الإشارة لكي تكون جاهزة لعملية كشف الغلاف.

وفي الحقيقة, يتم تحقيق صفة الانتقائية عملياً في قسم التردد المتوسط أما قسم متوسط المذياع فليس له دور يذكر في هذا الشأن. فمهمة هذا القسم الرئيسة هي التخلص من تردد الصورة. وإن مخرج مغير الذبذبات يتكون من الفرق بين ترددي الإشارة القادمة f_c وإشارة المذبذب الموضعي (أي إن $F_{IC}=F_{LO}\ F_C$). فإن كان تردد الموجة القادمة f_c يساوي 1000kHz فإن: $F_{LO}=F_C+F_{IF}$ = 1000+455=1455kHz ولو كانت هناك إشارة أخرى تبث على تردد يساوي $F_c= 1455+455=1910kHz$, فإن التقاطها يصبح ممكناً أيضاً لأن الفرق $F_c\ \ F_{co}$ يساوي 455 kHz. وهنا نقول إن المحطة التي ترددها 1910kHz وهي صورة (أو خيال) المحطة التي ترددها 1000kHz وأي محطتين يفصل بين ترددهما $2F_{IF}$=910kHz, فإن إحداهما صورة للأخرى وكلاهما سيظهران عند مخرج الترددات المتوسطة فافتراض عدم وجود قسم مذياع عند مدخل جهاز الاستقبال. وقد يقدم مرشح المذياع انتقائية سيئة ضد المحطات التي يفصل بين تردداتها 70kHz ولكنه يجب أن يوفر انتقائية معقولة المحطات التي يفصل بينها 910kHz.

ويغير جهاز الاستقبال (شكل 2-3) تردد الموجة الحاملة إلى تردد وسيط (IF) باستعمال مولد الذبذبات الموضعي الذي تردده (F_{LO}) أكبر من الموجة القادمة. ولذا يطلق عليه المستقبل بالفعل المغاير الفوقي ويستخدم هذا المبدأ الذي قدمه أرمسترونغ في أجهزة استقبال التضمين الاتساعي, والترددي, والتلفازي. والسبب في الاستخدام تردد موضعي أعلى من تردد الموجة القادمة بدلاً من تردد أقل يعود إلى أن الأول يؤدي إلى حدوث مدى طنيني للمذبذب الموضعي أصغر من ذاك الناتج عند استعمال الأخير. وتمتد

ترددات الموجات الإذاعية المتوسطة كما هو معروف من 550 إلى 1600 كيلو هرتز. ويتمدد تردد التحويل الفوقي المصاحب لهذا النطاق من الذبذبات الإذاعية من 1005 إلى 2055 كيلوهرتز بينما يغطي مدى التحويل السفلي النطاق الممتد من 95 إلى 1145 كيلوهرتز ولا شك أن تصميم المذبذب سيكون أكثر سهولة كلما صغرت النسبة بين تردد النهاية الكبرى والنهاية الصغرى لمدى الطنين.

ويكتسب مبدأ الفعل المتغاير الفوقي أهمية خاصة في البث الإذاعي. ففي السنوات الأولى للبث الإذاعي (قبل عام ١٩١٩م) كان مرشح قسم مرحلة المذياع هو المسؤول عن تحقيق الانتقائية بكاملها لتمييز المحطات المتجاورة. ولكون مرشح هذا القسم يتصف بانتقائية رديئة، كان من الضروري استعمال عدة مراحل (عدد من دوائر الطنين) متصلة على التوالي لتخفيف انتقائية كافية. وفي أجهزة الاستقبال القديمة كان طنين كل مرشح يعدل على حدة. وكان من العسير والمضيع للوقت التقاط محطة إذاعية عن طريق جعل جميع دوائر الطنين كلها متزامنة. وقد سهل هذا الأمر بتجميع المكثفات المتغيرة كبيرة الحجم مما يجعل هناك حداً لعدده الذي يمكن تجميعه لهذه الطريقة.

وهذا بلا شك يحد من الانتقائية التي توفرها تلك الأجهزة. وبالتالي كان لابد من فصل بين ترددات الموجات الحاملة المتجاورة بمقادير كبيرة، مما نتج عنه عدد قليل من النطاقات الترددية أو القنوات. وهنا تبرز أهمية جهاز الاستقبال المعتمد على مبدأ الفعل المتغير الفوقي (سوبرهيتردااين) في السماح بوجود محطات إذاعية كثيرة.

تمارين

التمرين الأول

ارسم مخطط بيانياً لجهاز استقبال موجة AM مع تسمية مكوناته.

التمرين الثاني

اذكر الخصائص المميزة لجهاز استقبال موجة AM مع شرح وجيز لكل عنصر.

التمرين الثالث

أوجد عرض نطاق الترددات الوسطية (B_{IF}) الضرورية للوصول إلى عرض تحسين النطاق (B_I) المقدر بـ 16 لجهاز استقبال المذياع حيث عرض نطاق ترددات المذياع (B_{RF}) تساوي 320kHz.

التمرين الرابع

أوجد تحسين في شكل الضوضاء (NF_i) لجهاز استقبال حيث عرض نطاق ترددات المذياع *(RF)* يساوي 40kHz وعن عرض نطاق الترددات الوسطية *(IF)* يساوي 10kHz.

التمرين الخامس

أوجد درجة الحرارة المكافئة للضوضاء (Te)حيث شكل الضوضاء يساوي 16dB ودرجة الوسط $T=27^{\circ}C$.

التمرين السادس

ارسم شكلاً توضيحياً لجهاز سوبر هيردين واشرح وظيفته مع بيان مدى أهميته.

التمرين السابع

إذا كان تردد الموجة الحاملة القادمة إلى جهاز الاستقبال تساوي 500kHz. احسب تردد المذبذب الموضعي في جهاز الاستقبال.



أساسيات الاتصالات

تضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد

الوحدة الرابعة : تضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد

Amplitude Modulation: Single Side band (SSB)

- **الهدف**

عند نهاية هذة الوحدة فإن المتدرب بإمكانه:

١. أن يتعرف على نظام النطاق الجانبي المفردلتضمين السعة

٢. أن يقوم بتعداد مختلف أنظمة تضمين السعة.

٣. أن يعرف كل نظام من هذه الأنظمة.

٤. أن يفرق بين هذه الأنظمة.

٥. أن يقترح أي نظام أفضل استعماله في ميدان البث الإذاعي , والإرسال التلفازي ونظام الهاتف بعيد المدى, والاتصالات بواسطة الميكروويف.

*** محتوى هذه الوحدة:**

٤-١ مقدمة.

٤-٢ أنظمة النطاق الجانبي المفرد:

٤ -٢ -١ تضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.

٤ -٢ -٢ تضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

٤ -٢ -٣ تضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد المتحقق الحامل.

٤ -٢ -٤ تضمين السعة : النطاق الجانبي الجزئي.

٤ -٢ -٥ تضمين السعة : النطاق المزدوج المكبوت الحامل.

٤-٣ مقارنة بين الأنظمة المختلفة لتضمين السعة

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : 7 ساعات

٤-١ مقدمة Introduction

لقد سبق أن تعرضنا بعمق خلال الوحدة الثانية إلى تضمين السعة المزدوج أو الكامل (AMDSBFC) وتوصلنا إلى أن معظم القدرة الكلية المرسلة محتواة في الموجة الحاملة. لكن الموجة الحاملة لا تحتوي على أي معلومات. مع العلم أن النطاقين الجانبين هما اللذان يحتويان على المعلومات. بالإضافة إلى ذلك فإن تضمين السعة ذات النطاق المزدوج يستهلك عرض نطاق مضاعف لما يستهلكه تضمين لاتساع النطاق الجانبي المقرر. إن إرسال كلاً من المركبتين الجانبيتين العليا والدنيا يعتبر إرسال متكرر لنفس المعلومة لأنهما يشملان على نفس المعلومات. بناءً على ما سبق نخلص إلى نتيجة مهمة وهي أن تضمين السعة ذات النطاق المزدوج (AM DSBFC) هو عبارة عن طريقة تبدد من خلالها كثير من القدرة وعرض النطاق ، اللذان يعتبران عنصران مهمان في تصميم الأجهزة الحديثة في أنظمة الاتصالات. نتيجة ذلك تم إدراج تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد كبديل إلى حد ما لتضمين السعة المزدوج لما يتميز به من خصائص على هذا النوع الأخير.

فالهدف من هذه الوحدة هو دراسة مختلف أنظمة تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد ومميزاته وعيوبه مقارنة بتضمين السعة المزدوج.

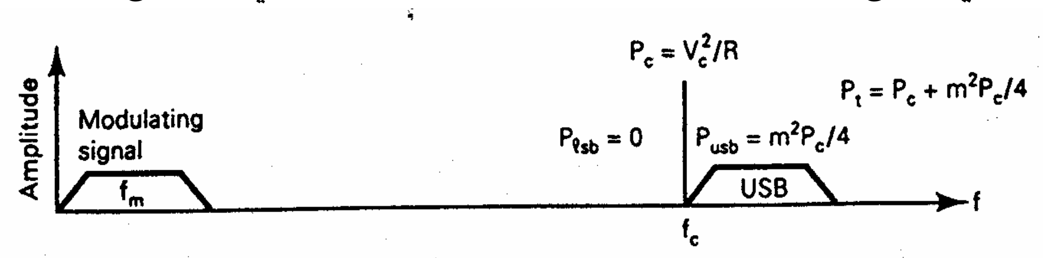
٤-٢ أنظمة النطاق الجانبي المفرد Single – Sideband Systems

هناك عدة أنواع من أنظمة الاتصالات الخاصة بالنطاق الجانبي. البعض منها يقتصد في القدرة, والبعض يقتصد في عرض النطاق والآخر يقتصد في القدرة وعرض النطاق. إذا من خلال هذا البند نستعرض إلى دراسة الأنواع التالية:

٤-٢-١ تضمين السعة- النطاق الجانبي المفرد مع الحامل

AM Single – Side band Full Carrier (SSBFC)

تعتبر السعة- النطاق الجانبي المفرد مع الحامل شكل من اشكال تضمين السعة ذات النظاق المزدوج حيث ترسل الموجة الحاملة بكامل طاقتها, إلا أنه يستغنى على أحد النطاقين الجانبيين. الشكل 4-1 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة بالنسبة لتضمين السعة : النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.



الشكل 4-1: يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة النظام النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.

وللتعبير عن ذلك رياضياً, نذكر بمعادلة توزيع الجهد بالنسبة لتضمين السعة المزدوج والتي توصلنا إليها في الوحدة الثانية والمعطاة كما يلي:

$$V_{am}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t \qquad (1\text{-}4)$$

تبعاً لتعريف تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد مع الحامل فإننا نأخذ الموجة الحاملة مع أحد النطاقين, ولنفرض أنها على النحو التالي:

$$V_{SSBFC}(t) = E_c \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t \qquad (4\text{-}2)$$

إذاً من المعادلة (4-2) نستطيع القول بأن القدرة التي تحملها الموجة المضمنة موزعة بين الموجة الحاملة ومركبة أحد نطاق التردد, وليكن التردد الأعلى .

$$P_t = P_C + P_{USB}$$
$$P_t = P_C + \frac{m^2}{4}P_C \qquad (4\text{-}3)$$
$$P_t = (1 + \frac{m^2}{4})P_C$$

وإذا تم التضمين 100% فإن m=1 وبالتالي المعادلات السابقة تصبح كمايلي:

$$P_C = \frac{4}{5}P_t$$
$$P_{USB} = \frac{1}{5}P_t \qquad (4\text{-}4)$$

من المعادلات (4-4) يمكن القول إن الجزء الأكبر من قدرة الموجة المضمنة ذات النطاق المفرد مع الحامل يكون من نصيب الموجة الحاملة والجزء الأصغر منها يقع ضمن النطاق المفرد. وتشبه حالة تبديد القدرة هذه حالة تضمين السعة المزدوج. أما الخاصية التي يتميز بها النطاق الجانبي المفرد مع الحامل هو الاقتصاد في عرض النطاق المطلوب والمعطى كما يلي:

$$BW_{SSBFC} = f_m \qquad (4\text{-}5)$$

حيث

BW_{SSBFC}: عرض نطاق بالهرتز

f_m: تردد إشارة المعلومات بالهرتز

أما القيمة القصوى لجهد الغلاف الخارجي للموجة المضمنة

$$V_{\max} = E_C + E_{USB} \qquad (4\text{-}6)$$

أما القيمة الدنيا

$$V_{\min} = E_C - E_{USB} \tag{4-7}$$

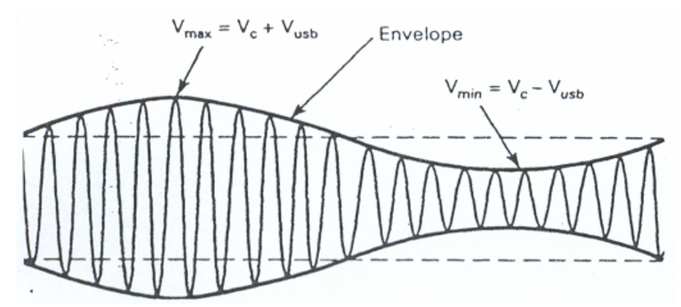
وبما أن

$$E_{USB} = \frac{mE_C}{2} \tag{4-8}$$

بتعويض المعادلة (4-8) في المعادلة (4-7)، ومن أجل حالة التضمين 100% نجد

$$V_{\min}\,(\%) = 50\%\, E_C \tag{4-9}$$

من المعادلة 4-8 نستنتج بأن حالة التضمين 100% في النطاق الجانبي المفرد مع الحامل تعادل 50% في تضمين السعة المزدوج. الشكل 2-4 يوضح الموجة المضمنة للنطاق الجانبي المفرد مع الحامل عندما يتم التضمين بنسبة 100%.



الشكل 2 4 يوضح موجة النطاق الجانبي المفرد مع الحامل عند نسبة التضمين 100%.

مثال 1-4

لدينا جهاز إرسال موجته الحاملة P_c=100W. يستخدم هذا الجهاز في النطاق الجانبي المفرد (SSB). حيث معامل التضمين m=0.8.

أ. أوجد قدرة الإرسال التي تحملها إحدى مركبتي النطاق الترددي.

ب. أوجد قدرة الإرسال التي تحملها موجة النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.

ج. أجر مقارنة بين قيم الطاقات وماذا يمكن أن تستنتج؟

الحل:

أ. $P_{USB} = \frac{m^2}{4} P_C = \frac{1}{4}(0.8)^2 100 = 16W$

ب. $P_t = P_C + P_{USB} = 100 + 16 = 116\ W$

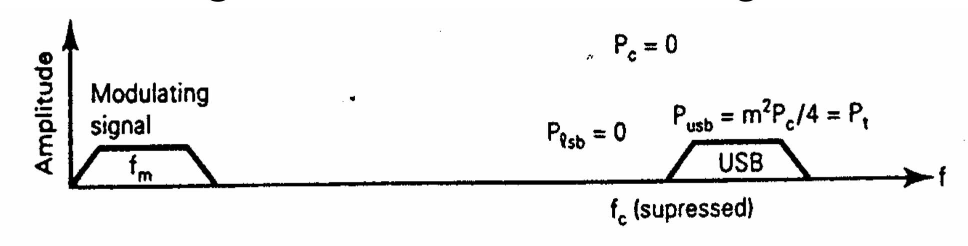
ج. P_t=116 W, P_C=100 W , P_{USB}=16 W

نستنتج أن طاقة الإرسال موزعة كما يلي 86% محتواة في طاقة الموجة الحاملة (تبديد للطاقة) و14% محتواة في المركبة الجانبية (المحتواة على المعلومات) أي نستطيع الجزم على أن النطاق الجانبي المفرد مع الحامل يبدد القدرة تقريباً بنفس طريقة تضمين السعة المزدوج.

٤-٢-٢ تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل

AM Single Side band Suppressed Carrier (SSBSC)

يعتبر تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل شكل من أشكال تضمين السعة المزدوج حيث الموجة الحاملة ملغاة مع سحب إحدى المركبتين كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 3-4 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

باستخدام المعادلة 1-4, وأخذ بعين الاعتبار تعريف النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل, فيمكن التعبير رياضياً عن الموجة المضمنة بما يلي (حسب اختيار المركبة).

$$V_{SSBFC}(t) = -\frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t \qquad (4\text{-}10)$$

من المعادلة 10-4 نستنتج أن القدرة المرسلة موزعة 100% على المركبة الجانبية فقط والتي تحتوي على المعلومات, ومن هنا نقول بأن تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل يعتبر أفضل اقتصادياً بالنسبة للطاقة وكذلك بالنسبة لعرض النطاق حيث يبلغ عرض نطاق F_m.

ويمكن أن نعبر عنه رياضياً بما يلي:

$$P_t = P_{USB} = \frac{m^2}{4}P_C \qquad (4\text{-}11)$$

$$BW = f_m \qquad (4\text{-}12)$$

مثال 2-4

لدينا جهاز إرسال طاقة موجته الحاملة P_c=200w يستخدم هذا الجهاز في النطاق الجانبي المفرد حيث معامل التضمين يساوي m=1.

أ. أوجد طاقة الإرسال التي تحملها إحدى المركبتين.

ب. أوجد طاقة الإرسال الكلية للنطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

ج. ماذا تستنتج؟

الحل:

أ. $P_{USB} = \frac{m^2}{4}P_C = \frac{1}{4}(1)^2\,200 = 50\ W$

ب. $P_t = P_{USB} = 50\ W$

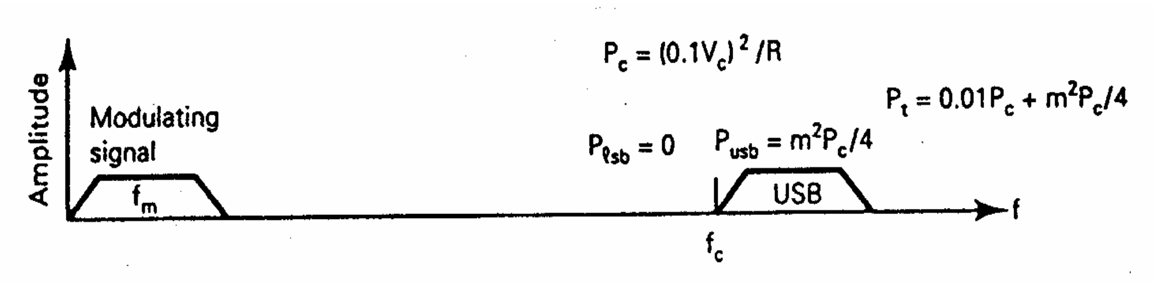
جـ. نستنتج بأن القدرة المرسلة كلها محتواة في المركبة الجانبية وبالتالي تعتبر تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحاملة طريقة اقتصادية من حيث استغلال القدرة وهي تختلف تماماً على طريقة تضمين السعة المزودج.

٤-٢-٣ تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل

AM Single – side band Reduced Carrier (SSBRC)

يعتبر تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المنخفض الحامل شكل من أشكال تضمين السعة المزدوج حيث يتم تخفيض في سعة الموجة الحاملة قبل التضمين بنسبة 10% تقريباً.

مع سحب إحدى المركبتين العليا أو الدنيا. كما هو موضح في الشكل التالي:



الشكل 4-4 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام النطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل.

يمكن التعبير رياضياً عن معادلة الموجة المضمنة للنطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل بما يلي:

$$V_{SSBFC}(t) = E_{c(reduced)} \sin 2\pi f_c t - \frac{mE_{c(reduced)}}{2} \cos 2\pi (f_c + f_m)t \quad (4\text{-}13)$$

إذا اعتبرنا نسبة التخفيض 10% فإن المعادلة (4-13) تصبح على الشكل التالي:

$$V_{SSBFC}(t) = (0.1)E_C \sin 2\pi f_c t - \frac{(0.1)E_c}{2} \cos 2\pi (f_c + f_m)t \quad (4\text{-}14)$$

إن المعادلة (4-14) تخبرنا أن طاقة الإرسال موزعة على الموجة الحاملة والمركبة الجانبية ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً :

$$P_t = P_C + P_{USB}$$
$$Pt = \frac{E^2_{C(reduced)}}{R} + \frac{1}{4} m^2 P_C \quad (4\text{-}15)$$

بما أن

$$E_{C(reduced)} = 0.1 E_C$$

إذاً

$$Pt = (0.01 + \frac{m^2}{4}) P_C$$

أما عرض النطاق

$$BW = f_C \quad (4\text{-}16)$$

مثال 3-4

إذا كانت سعة الموجة الحاملة E_c=20V المستخدمة في جهاز الإرسال المخصص للنطاق الجانبي المفرد حيث معامل التضمين m=1 مع العلم أن مقاومة الحمل R=5Ω

أ. احسب قدرة الموجة الحاملة التي تدخل في تركيب موجة النطاق الجانب المفرد المخفض الحامل.

ب. احسب قدرة مركبة أحد نطاقي التردد.

ج. احسب القدرة الكلية أو قدرة الإرسال.

د. ماذا تستنتج؟

الحل:

أ.

$$P_C = \frac{E^2_{C(reduced)}}{R} = \frac{(0.1E_C)^2}{R} = \frac{0.01E_C^2}{R}$$

$$P_C = \frac{0.01 \times 400}{5} = 0.8W$$

ب.

$$P_{USB} = \frac{m^2}{4} P_C = \frac{1}{4}(1)^2(0.8) = 0.2\ W$$

ج.

$$P_t = P_C + P_{USB} = 0.8 + 0.2 = 1W$$

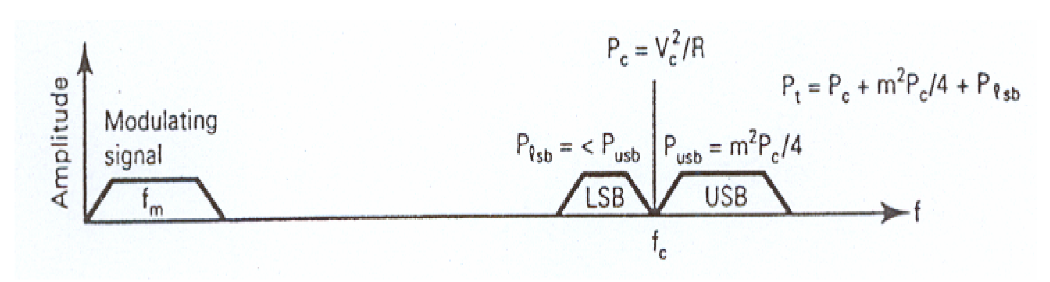
د. نستنتج أن 80% من طاقة الإرسال محتواة في الموجة الحاملة (تعتبر تبديد للطاقة لأنها لا تحتوي على معلومات) بينما 20٪ من طاقة الإرسال مركزة في مركبة أحد نطاقي التردد. فيمكن القول بأن طريقة تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المخفض الحامل تشترك مع تضمين السعة المزدوج في تبديد القدرة إلا أنها تتميز عليها في استخدام عرض النطاق أقل.

٤-٢-٤ تضمين السعة: النطاق الجانبي الجزئي

Amplitude Modulation: Vestigial Sideband (VSB)

نظام الاتصال ذو النطاق الجانبي الجزئي هو نظام جامع لخصائص المزدوج والنطاق المفرد. فهو يحافظ على فوائد النظامين ويتجنب عيوبهما في نفس الوقت. فإشارات النطاق الجزئي سهلة التوليد. وفي نفس الوقت نجد أن عرض نطاقها لا يزيد إلا قليلاً (في حدود 25%) عن عرض إشارة النطاق المفرد.

في هذا النظام يتم إرسال الموجة الحاملة وعرض نطاق جانبي واحد كلية, مع جزء فقط من النطاق الجانبي الثاني. كما هو موضح في الشكل 4-5



الشكل 4-5 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام النطاق الجانبي الجزئي (VSB)

إن عرض النطاق المطلوب من أجل إرسال إشارة النطاق المفرد الجزئي (VSB) يكون في حدود 1.25 من عرض النطاق الجانبي المفرد أي يمكن التعبير عنه رياضياً بما يلي:

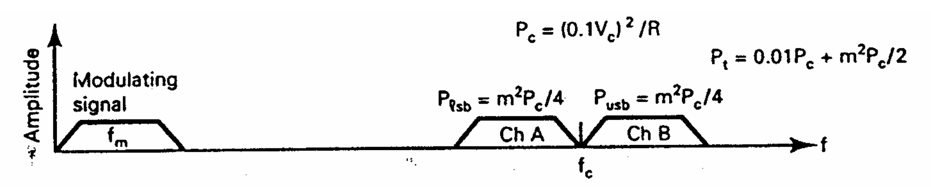
$$BW_{VSB} = 1.25BW_{SSB} = 1.25f_m \quad (4\text{-}17)$$

إن VSB يستعمل في إرسال إشارة الفيديو في البث التلفازي.

٤-٢-٥ تضمين السعة: النطاق المزدوج المكبوت الحامل

Double Sideband Suppressed Carrier (DSBSC)

كما رأينا في مختلف تقنيات لأنظمة النطاق الجانبي المفرد والتي سبق دراستها, فإنه يفضل التخلص من مركبة الموجة الحاملة نظراً لما تحتويه على معظم طاقة الإرسال دون أن تشمل على المعلومات المطلوبة. وكما قلنا سابقاً فإن المركبات الجانبية العليا والدنيا هما اللتان تشملان على المعلومات. إن الشكل 4-6 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام السعة المزدوج المبكوت الحامل.



الشكل 4-6 يوضح الطيف الترددي وتوزيع القدرة لنظام السعة المزدوج المكبوت الحامل.

أما الموجة المضمنة الناتجة فيمكن التعبير عنها رياضياً بالمعادلة التالية:

$$V_{DSBFC}(t) = -\frac{mE_c}{2}\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \frac{m^2E_c}{2}\cos 2\pi(f_c - f_m)t \quad (4\text{-}18)$$

واضح من المعادلة (4-18) بأن القدرة الكلية (أو طاقة الإرسال) هي عبارة عن طاقة المركبتين العليا والدنيا وحيث:

$$P_t = P_{USB} + P_{lSB}$$
$$P_t = \frac{m^2}{4}P_C + \frac{m^2}{4}P_C \qquad (4\text{-}19)$$
$$P_t = \frac{m^2}{2}P_C$$

أما عرض النطاق

$$BW_{DSBFC} = 2f_m \qquad (4\text{-}20)$$

من المعادلة (4-19) نستنتج أن تقنية تضمين السعة المزدوج المكبوت الحامل تقتصد في القدرة المرسلة حيث إن كامل القدرة المرسلة تقع ضمن المركبات الجانبية التي تحتوي على المعلومات المطلوب إرسالها.

٤-٣ مقارنة بين الأنظمة المختلفة لتضمين السعة

Comparison of Various AM Systems

لقد تطرقنا في مناقشتنا السابقة لعدة خصائص من أنظمة السعة (النطاق المزدوج والنطاق المفرد). ولعل من المفيد أن تجرى مقارنة هذه الأنظمة على ضوء عدد من النقاط الهامة أبرزها عرض نطاق التردد، وطاقة الإرسال وتوزيعها على مختلف مركبات الموجة المضمنة، وسهولة الكشف، والاستخدام التطبيقي الميداني لهذه الأنظمة.

تتميز أنظمة السعة عن أنظمة السعة مع كبت الحامل في جهاز الاستقبال وذلك لسهولة أجهزة الكشف (كاشف الغلاف) المطلوبة في نظام تضمين السعة إذا ما قورنت بتلك المطلوبة في أنظمة التضمين ذات الموجة الحاملة المكبوتة. ولهذا السبب فإن جميع أنظمة البث الإذاعي ذات التضمين السعوي تستعمل نظام تضمين سعوي عادي بدون كبت الموجة الحاملة. بالإضافة إلى ذلك فإنه من السهل توليد إشارات التضمين السعوي العادي بمستويات عالية من القدرة بالمقارنة مع الإشارات ذات الموجة المكبوتة، حيث تتسم أجهزة التضمين المتزنة والمستعملة لتوليد هذه الإشارة بصعوبة تصميمها.

وهناك ميزة لأنظمة التضمين ذات الموجة الحاملة المكبوتة تتميز بها على نظام تضمين السعة وهي أن الأنظمة الأولى تتطلب طاقة بث أو إرسال أقل لنقل نفس المعلومات. فتحت الظروف العادية، تستهلك الموجة الحاملة 75% (أو حتى أكثر من ذلك، راجع الأمثلة السابقة) من قدرة النقل الكلية، مما يتطلب جهاز إرسال باهظ التكاليف. وبالمقابل، فإن أنظمة التضمين ذات الموجة الحاملة المكبوتة تتطلب جهاز استقبال معقداً وبالتالي غالي الثمن مقارنة بجهاز الاستقبال اللازم لنطاق التضمين السعوي. وفي نظام الاتصالات عن طريق وصلات الميكروييف (micro wave link)، والذي يتميز بوجود عدد محدود من أجهزة الاستقبال حيث إنه مع كل جهاز إرسال واحد يوجد جهاز استقبال معقد، أما في أنظمة البث

الإذاعي حيث توجد ملايين من أجهزة الاستقبال لكل جهاز إرسال واحد, فإن التضمين السعوي هو الاختيار الصحيح.

وسنقارن الآن بين نظام النطاق المزدوج بنظام النطاق المفرد وفيما يلي عدد من مميزات النطاق المفرد مقارنة بنظام النطاق المزدوج:

١. يحتاج نظام النطاق المفرد نصف عرض النطاق الترددي اللازم لنطاق المزدوج. وبالرغم من إمكانية معادلة هذا الفرق وذلك عن طريق استخدام التعدد المتعامد لإشارتي النطاق المزدوج, إلا أن الصعوبات العملية الناتجة عن تشويش الحديث التداخلي تكون أكثر خطورة في نظام الإكثار المتعامد.

٢. لأخطاء التردد والطور في الموجة الحاملة المستخدمة لاستخلاص التضمين آثار أكثر خطورة في حالة نظام النطاق المزدوج من تلك الناتجة عن استخدام نطاق النطاق المفرد وبالأخص عند نقل الإشارات الصوتية.

ولهذه الأسباب, يقل استخدام نظام النطاق المزدوج في أنظمة الاتصالات الصوتية. وفي أنظمة الهاتف بعيدة المدى, و تستعمل أنظمة التعدد (التقسيم) باستخدام النطاق المفرد مع وجود موجة حاملة دليلية. أما في الأنظمة القصيرة المدى فيستخدم أحياناً نظام النطاق المزدوج. إلا أن هذين النطاقين يستدلان تدريجياً بنظام التضمين تشفير النبضة (PCM).

ويتغلب نظام النطاق المزدوج على النطاق المفرد في حالة واحدة وهي أن توليد إشارة النطاق المفرد بمستوى عالٍ من القدرة يكون أكثر صعوبة من توليد إشارة النطاق المزدوج ويتم التغلب على هذا العيب لنظام النطاق المفرد بنظام النطاق الجزئي.

تمارين

التمرين الأول

أعط تعريفاً مناسباً لكل مما يلي:

أ - تضمين السعة: المزدوج العادي أو الكامل.

ب - تضمين السعة:النطاق الجانبي المزدوج المكبوت الحامل.

ج - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد.

د - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد مع الحامل.

هـ - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

و - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت

ز - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المكبوت الحامل.

ح - تضمين السعة: النطاق الجانبي المفرد المتحقق الحامل.

ط - تضمين السعة: النطاق الجانبي الجزئي.

التمرين الثاني

أعط مجال استعمال لكل نظام من أنظمته المذكورة في التمرين الأول.

التمرين الثالث

أعط المعادلات الرياضية التي تعبر عن توزيع الجهد لكل نظام من الأنظمه المذكورة في التمرين الأول (ما عدا الجزء ج).

التمرين الرابع

بناء على إجابتك على التمرين الثالث, استنتج قوانين القدرة وعرض النطاق لكل نظام من الأنظمة السابقة.

التمرين الخامس

بناء على إجابتك على التمرين الرابع, ارسم جدولاً تحدد فيه بدقة العلاقة بين هذه الأنظمة وتميزها عن بعضها من وجهة نظر عدد النقاط الهامة مثل عرض نطاق التردد, وتوزيع القدرة, وسهولة إزالة التضمين أو الكشف, والاستخدام التطبيقي.



المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

أساسيات الاتصالات

التضمين الزاوي

التضمين الزاوي



الوحدة الخامسة : التضمين الزاوي

Angle Modulation

- **الهدف**

عند نهاية هذه الوحدة بإمكان المتدرب:

أ. تعريف التضمين الزاوي.

ب. تعريف تضمين الطور (PM).

ج. تعريف تضمين التردد (FM).

د. توليد موجات (PM) وFM نظرياً وعملياً.

هـ. حساب عرض نطاق التضمين الزاوي بطريقتي قانون كارس وجدول بيسال.

- **محتوى الوحدة الخامسة :**

٥ -١ مقدمة.

٥ -٢ التضمين الزاوي والتردد اللحظي.

٥ -٣ تضمين الطور وتضمين التردد.

٥ -٤ توليد موجتي تضمين الطور والتردد نظرياً.

٥ -٥ دليل التضمين.

٥ -٦ تحليل الموجات المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد.

٥ -٧ متطلبات عرض نطاق الموجات المتضمنة زاوياً.

٥ -٨ الطاقة المتوسطة للموجة المضمنة زاوياً.

٥ -٩ الدوائر الإلكترونية المستعملة لتوليد موجات التضمين الزاوي عملياً.

عدد الساعات المطلوبة لتدريس هذه الوحدة : **12** ساعة

٥ -١ مقدمة Introduction

هناك ثلاث خصائص يمكن تغييرها للإشارة التماثلية وهي: الاتساع، والتردد والطور. هذه الوحدة تتناول تضمين التردد (FM) وتضمين الطور (PM). إن تضمين التردد وتضمين الطور يعتبران شكلاً للتضمين الزاوي. وهناك خصائص مميزة تستدعي استعمال تضمين الزاوي بدلاً من تضمين الاتساعي (AM) نظراً لمساهمته في إنقاص الضوضاء، وتحسين دقة نظام الاتصالات وأكثر مردودية في استعمال الطاقة. إلا أن التضمين الزاوي يتطلب دوائر إلكترونية معقدة في كل من جهازي الإرسال والاستقبال.

في سنة 1931 اقترح تضمين الزاوي كبديل للتضمين الاتساعي. وفي سنة 1936م تمكن العالم أرمسترونغ من تطوير نظام المذياع باستعمال FM، وفي سنة 1939م تم البث الإذاعي باستعمال FM في الولايات المتحدة الأمريكية.

وفي يومنا هذا، أصبح استعمال تضمين الزاوي بشكل كبير جداً حيث يستعمل في البث الإذاعي، وفي التلفاز لنقل الصوت، والمذياع الخلوي، وفي أنظمة الأقمار الصناعية والميكروييف.

إن الهدف المنشود من هذه الوحدة هو التعريف بأساسيات تضمين التردد وتضمين الطور والعلاقة التي تربط بينهما وما مدى تميزهما على التضمين الاتساعي (AM) وكذلك التعرف على الدوائر الإلكترونية التي تساهم في إنتاج هذين النوعين من التضمين.

٥- ٢ التضمين الزاوي والتردد اللحظي Angle Modulation and Instantaneous Frequency

إن التضمين الزاوي ينتج كلما تغيرت زاوية الموجة الجيبية بدلالة الزمن.

نعبر رياضياً عن موجة التضمين الزاوي بواسطة المعادلة التالية:

$$V(t) = E_C \cos[2\pi f_C + \Phi(t)] \qquad (5\text{-}1)$$

حيث الطور $\Phi(t)$ هو دالة إشارة المعلومات. لتعيد كتابة المعادلة (5-1) تحت الشكل التالي:

$$V(t) = E_C \cos[\theta(t)] \qquad (5\text{-}2)$$

حيث

$$\theta(t) = 2\pi f_C + \Phi(t) \qquad (5\text{-}3)$$

أي $\theta(t)$ هي زاوية الموجة الجيبية وهي متعلقة بالزمن. من هنا يمكن أن نعبر على التردد اللحظي بالمعادلة التالية:

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \tag{5-4}$$

نعوض المعادلة (5-3) في المعادلة (5-4) نحصل على ما يلي:

$$\omega_i(t) = \omega_C + \frac{d\phi(t)}{dt} \tag{5-5}$$

حيث $\omega_C = 2\pi f_C$

$\phi(t)$: يعرف بالانحراف اللحظي في الطور.

$\frac{d\phi(t)}{dt}$: يعرف بالانحراف اللحظي في التردد.

٥-٣ تضمين الطور وتضمين التردد

Phase and Frequency Modulation (PM and FM)

كما أشرنا في المقدمة بأن أنواع التضمين الزاوي هما تضمين الطور (PM) وتضمين التردد (FM).

وبالنسبة لتضمين الطور (PM)، فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طرداً مع إشارة المعلومات، أي يمكن التعبير عنه رياضياً بالمعادلة التالية:

$$\phi(t) = \kappa_\rho V_m(t) \tag{5-6}$$

حيث :

κ_ρ : هو عبارة عن ثابت انحراف الطور ووحدته [$\frac{radian}{Volts}$]

$V_m(t)$: هو عبارة عن الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

أما بالنسبة لتضمين التردد (FM) فإن الانحراف اللحظي في الطور يتناسب طرداً مع إشارة المعلومات ويمكن التعبير عنه بالمعادلة التالية:

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \kappa_f V_m(t) \tag{5-7}$$

ومن هنا يمكن التعبير عن قيمة الانحراف اللحظي بما يلي:

$$\phi(t) = \kappa_f \int_{to}^{t} V_m(\lambda)d\lambda + \phi(t_o) \tag{5-8}$$

حيث:

κ_f : هو عبارة عن ثابت انحراف التردد معبراً عنه بـ [$\frac{hz}{v}$]

$\phi(t_o)$: هو عبارة عن الطور الابتدائي عند **0**

في الغالب يفترض أنه عندما يؤول الزمن إلى ناقص مالانهاية فإن الطور ينعدم, ومن هنا يمكن تعويض المعادلات (5-6) , (5-8) في المعادلة الأصلية (5-1) التي جعلناها محطة الانطلاق لنعبر على التضمين الزاوي بما يلي:

$$V_{PM}(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \kappa_\rho V_m(t)\right] \qquad (5\text{-}9)$$

$$V_{FM}(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C t + \kappa_f \int_{-\infty}^{t} V_m(\lambda) d\lambda\right] \qquad (5\text{-}10)$$

حيث المعادلتان (5-9) , (5-10) تعبران عن الجهد اللحظي لكل من موجة تضمين الطور وموجة تضمين التردد على التوالي.

والآن نريد استخراج كلاً من معادلتي التردد اللحظي لكل من تضمين الطور وتضمين التردد حتى يتسنى لنا رسم موجتيهما.

ومن أجل ذلك, نعوض المعادلة (5-6) في المعادلة (5-5) نحصل على:

$$\omega_{i(PM)}(t) = \omega_C + \kappa_\rho \frac{dV_m(t)}{dt} \qquad (5\text{-}11)$$

أما تعويض المعادلة (5-7) في المعادلة (5-5) يعطي ما يلي:

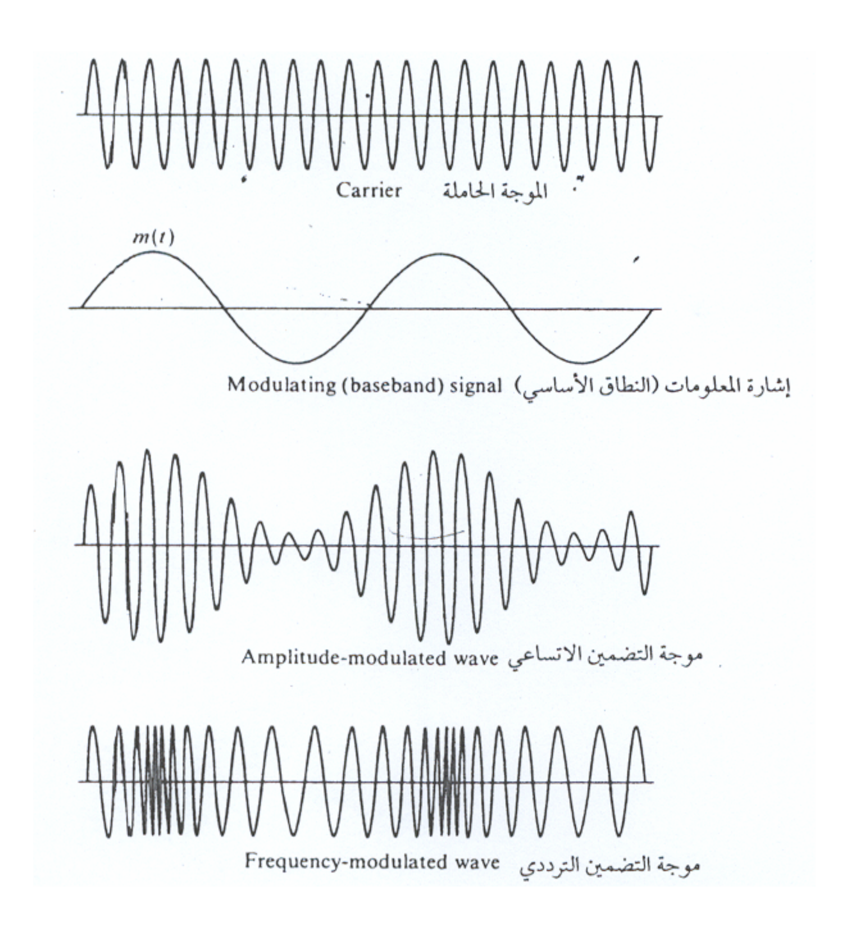
$$\omega_{i(FM)}(t) = \omega_C + \kappa_f V_m(t) \qquad (5\text{-}12)$$

من المعادلتين (5-11) , (5-12) نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع تفاضل الجهد اللحظي إشارة المعلومات بالنسبة للزمن هذا خاص بتضمين الطور أما فيما يخص تضمين التردد نلاحظ أن التردد اللحظي يتغير خطياً مع الجهد اللحظي لإشارة المعلومات.

٥-٤ توليد موجتي تضمين الطور وتضمين التردد نظرياً :

Theoretical Generation of PM and FM waves

كما أشرنا في الجزء السابق (5-3) على أن معادلات التردد اللحظي لكل من تضمين الطور وتضمين الطور هما الركيزتان الأساسيتان لفهم طريقة توليد موجتي (PM) , (FM) نظرياً كما يوضحه الشكل التالي:



الشكل 1-5 يوضح كيفية توليد موجتي (PM) و(FM).

مثال 1-5

أوجد التردد اللحظي بالهرتز لإشارة التضمين الزاوي.

$$V(t) = 10\cos(200\pi t + \frac{\pi}{3})$$

الحل:

$$\theta(t) = 200\pi t + \frac{\pi}{3}$$

$$\omega_i(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} = 200\pi$$

$$\omega_i = 2\pi f_i = 200\,\pi \Rightarrow f_i = 100\ Hz$$

٥-٥ دليل التضمين Modulation Index

أ. دليل التضمين لموجة تضمين الطور:

دليل التضمين لموجة تضمين الطور يعطى بالعلاقة التالية :

$$m = \kappa_{\rho} \ V_m \qquad (5\text{-}13)$$

حيث :

m: دليل التضمين ويقاس بالرادين

K_p: ثابت انحراف الحساسية ويقاس بالرادين/الفولط

V_m: السعة القصوى لجهد إشارة المعلومات.

يجب التبيه على أن دليل التضمين لموجة تضمين الطور يدعى كذلك "الانحراف الأقصى في الطور".

مثال 5-2

أوجد دليل التضمين (الانحراف الأقصى في الطور) لتضمين الطور حيث ثابت انحراف الحساسية:

$$V(t) = 2\cos(2\pi 2000t)$$

الحل:

$$m = \kappa_{\rho} \ V_m = 2.5 \times 2 = 5rd$$

ب. دليل التضمين لموجة تضمين التردد:

دليل التضمين لموجة تضمين التردد يعطى بالعلاقة التالية:

$$m = \frac{\kappa_f V_m}{f_m} \qquad (5\text{-}14)$$

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} \qquad (5\text{-}15)$$

حيث:

$\Delta f = \kappa_f V_m$: يدعى الانحراف في التردد أو الانحراف الأقصى في التردد.

f_m: تردد إشارة المعلومات

k_f: ثابت انحراف الحساسية لضمن التردد.

مثال 5-3

أوجد الانحراف الأقصى للتردد ودليل التضمين لمضمن التردد حيث ثابت إنحراف الحساسية

$$\kappa_f = 5\frac{KHz}{V}$$

وإشارة المعلومات

$$V(t) = 2\cos(2\pi 2000t)$$

الحل:

أ. الانحراف الأقصى في التردد لمضمن FM

$$\Delta f = \kappa_f V_m = 5\left[\frac{KHz}{V}\right]\times 2V = 10KHz$$

ب. دليل التضمين لموجة FM

$$m = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{10\ KHz}{2\ KHz} = 5$$

٥-٦ تحليل الموجات المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد

Frequency Analysis of Angle Modulated Waves

إن اشتمال إشارة المعلومات أحادية التردد من أجل تضمين الموجة الحاملة تضميناً زاوياً فإن مضمن الطور أو التردد ينتج عدداً غير منتهي من أزواج الأجنحة الترددية والتي تمتلك عرض نطاق غير منتهي.

كل جناح يزاح على الموجة الحاملة بواسطة حاصل ضرب عدد الذي يلي العدد قبله (العدد الأول يساوي واحد).

أي $f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, ..., f_c \pm nf_m$

ومن ناحية أخرى يمكن إهمال معظم الأجنحة لأن سعتها ضعيفة.

من أجل تحليل الموجة المضمنة للتضمين الزاوي بواسطة التردد. نذكر بمعادلة التضمين الزاوي (5-1) والمعطاة بما يلي:

$$V(t) = E_C \cos[2\pi f_C + \Phi(t)] \qquad (5\text{-}16)$$

بتعويض المعادلة (5-6) في المعادلة (5-16) نحصل على

$$V(t) = E_C \cos[2\pi f_C + \kappa_\rho V_m(t)] \qquad (5\text{-}17)$$

لنفترض أن إشارة المعلومات معطاة بالعلاقة التالية:

$$Vm(t) = V\cos\omega_m t \qquad (5\text{-}18)$$

نعوض المعادلة (5-18) في المعادلة (5-17) نحصل على:

$$V(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C + \kappa_\rho V \cos \omega_m t\right]$$

$$V(t) = E_C \cos\left[2\pi f_C + m \cos \omega_m t\right] \qquad (5\text{-}19)$$

حيث استبدلنا $\kappa_\rho V$ بـm (انظر المعادلة 5-13) باستعمال تعريف دالة بيسال:

$$\cos(\alpha + m\cos\beta) = \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(m)\cos(\alpha + n\cos\beta + \frac{n\pi}{2}) \qquad (5\text{-}20)$$

حيث $J_n(m)$ هي دالة بيسال من النوع الأول ومن الدرجة n بطويلةm.

بتطبيق المعادلة (5-20) على المعادلة (5-19) نحصل على

$$V(t) = E_C \sum_{-\infty}^{+\infty} J_n(m)\cos(\omega_C t + n\omega_m t + \frac{n\pi}{2}) \qquad (5\text{-}21)$$

الآن نقوم بنشر للمعادلة (5-21) إلى غاية الحدود الأربع الأولى نحصل على

$$V(t) = E_C \left\{ \begin{array}{l} J_o(m)\cos\omega_C t + J_1(m)\left[\cos(\omega_C + \omega_m)t + \frac{\pi}{2}\right] - \\ J_1(m)\left[\cos(\omega_C - \omega_m)t - \frac{\pi}{2}\right] + J2(m)\left[\cos(\omega_C + \omega_m)t + \frac{\pi}{2}\right] - \\ J2(m)\left[\cos(\omega_C - \omega_m)t - \frac{\pi}{2}\right] + \ldots \end{array} \right\} \qquad (5\text{-}22)$$

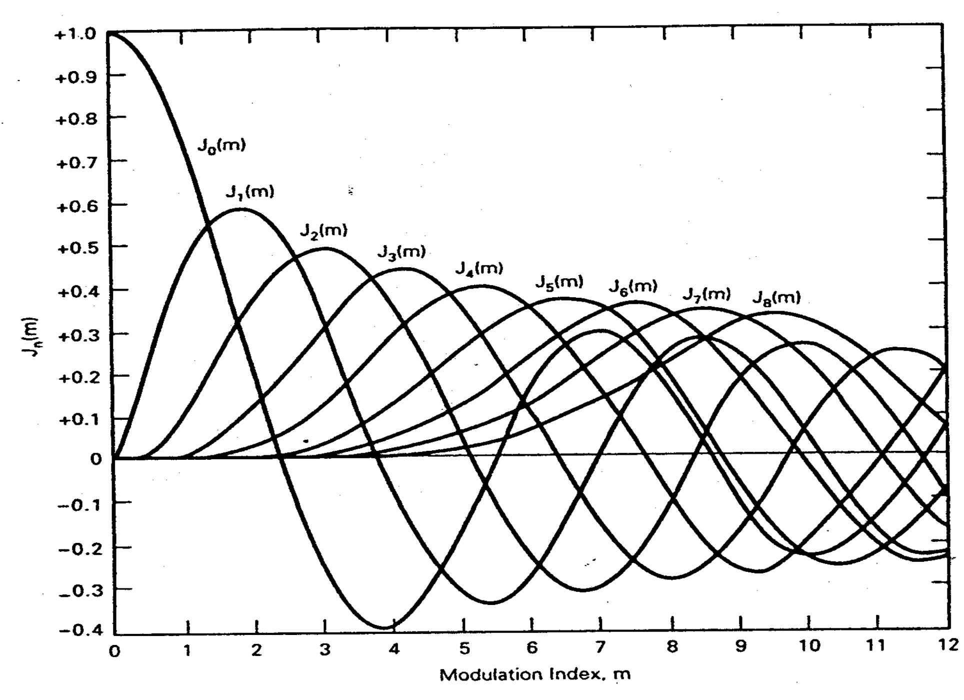
إن المعادلة (5-22) تبين أن استعمال إشارة المعلومات أحادية التردد في التضمين الزاوي ينتج عنه عدد غير منتهي من أزواج الأجنحة الترددية والواقعة على جانبي المركبة الترددية المركزية للموجه الحاملة (f_c) على الشكل التالي: $f_c \pm f_m, f_c \pm 2f_m, \ldots, f_c \pm nf_m$

الأزواج المتتابعة تُدعى عرض الجناح من الدرجة الأولى، عرض الجناح من الدرجة الثانية وهكذا، أما أطوال سعاتها فهي محددة بواسطة الثوابت $J_{1(m)}$ و، $J_{2(m)}$ بالترتيب.إن الجدول 5-1 يوضح دوال بيسال من النوع الأول من أجل عدة قيم لدليل التضمين.

جدول5-1 دوال بيسال من النوع الأول $J_{n[m]}$

m	J_o	J_1	J_2	J_3	J_4	J_5	J_6	J_7	J_8	J_9	J_{10}	J_{11}	J_{12}	J_{13}	J_{14}
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.94	0.24	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.4	0.00	0.52	0.43	0.20	0.06	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	- 0.05	0.5	0.45	0.22	0.07	0.02	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
3.0	- 0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-
4.0	- 0.04	- 0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-	-
5.0	- 0.18	- 0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02	-	-	-	-	-	-
6.0	0.15	- 0.28	- 0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-	-
7.0	0.30	0.00	- 0.30	- 0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13	0.06	0.02	-	-	-	-
8.0	0.17	0.23	- 0.11	- 0.29	- 0.10	0.19	0.34	0.32	0.22	0.13	0.06	0.03	-	-	-
9.0	- 0.09	0.25	0.14	- 0.18	- 0.27	- 0.06	0.20	0.33	0.31	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01	-
10.0	- 0.25	0.05	0.25	0.06	- 0.22	- 0.23	- 0.01	0.22	0.32	0.29	0.21	0.12	0.06	0.03	0.01

يمكن ملاحظة من الجدول 5-1 أنه كلما زاد معامل التضمين(m) فإن طويلة الموجة الحاملة $J_{n[m]}$ تتناقص. وإن الشكل 5-2 يوضح منحنيات السعات النسبية للموجة الحاملة وبعض أزواج من الأجنحة الترددية من أجل قيم m إلى غاية 10.



الشكل 5-2 رسم بياني يوضح قيم $J_{n[m]}$ مقابل m.

مثال 5-4

من أجل مضمن FM, حيث دليل التضمين m=1, إشارة المعلومات

$V_m(t)=V_m \sin (2\pi\ 1000t)$

وإشارة الموجة الحاملة قبل التضمين

$V_c(t)=10 \sin (2\pi\ 5x105t)$

أوجد:

أ. عدد أزواج الأجنحة الترددية المميزة.

ب. السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة.

ج. ارسم الطيف الترددي موضحاً عليه قيم السعات النسبية

الحل:

أ. باستعمال الجدول 5-1 من أجل m=1 فإن عدد الأزواج يساوي 3.

ب. السعات النسبية للموجة الحاملة والأجنحة هي:

$J_0 = 0.77\ (10) = 7.7\ V$
$J_1 = 0.44\ (10) = 4.4\ V$
$J_2 = 0.11\ (10) = 1.1\ V$
$J_3 = 0.02\ (10) = 0.2\ V$

ج. الطيف الترددي مبين في الشكل التالي:

٥-٧ متطلبات عرض نطاق موجات المضمنة زاوياً

Bandwidth requirement for Angle Modulated

نود أن ننتبه إلى الملحوظة التالية بناءً على الكلام السابق وكذلك المثال 5-4 فإن عرض نطاق التضمين الزاوي يتعلق بتردد إشارة المعلومات وثابت التضمين. فبالتالي لا بد أن نقوم بتمييز عدة حالات:

- **الحالة الأولى**: عندما يكون ثابت التضمين منخفضاً, ففي هذه الحالة فإن الطيف الترددي للتضمين الزاوي يشبه تماماً الطيف الترددي للتضمين الاتساعي (AM), وعرض النطاق الأدنى تجاوزاً يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = 2.f_m \qquad (5\text{-}24)$$

- **الحالة الثانية**: من أجل دليل التضمين العالي, فإن عرض النطاق في هذه الحالة يقرب بالعلاقة التالية:

$$B = 2\Delta f \qquad (5\text{-}25)$$

- **الحالة الثالثة**: إن عرض النطاق المطلوب من أجل تمرير جميع الأجنحة الترددية لموجة التضمين الزاوي معطاة بالعلاقة التالية:

$$B = 2(n \times f_m) \quad (5\text{-}26)$$

حيث:

N: عدد أزواج الأجنحة وتحدد من جدول بيسال

F_m: تردد إشارة المعلومات (إشارة التضمين).

- **الحالة الرابعة**: بتاريخ 28 أغسطس 1939م, أوجد العالم كارسن (Carson) قانون بموجبه يحدد عرض نطاق موجة التضمين الزاوي وهذا بغض النظر على دليل التضمين وأصبح يدعى قانون كارسن الذي ينص رياضياً على ما يلي:

$$B = 2\left[\Delta f + f_{m(\max)}\right] \quad [Hz]$$

حيث:

ΔF : الانحراف الأقصى في التردد

$f_{m(max)}$: التردد الأقصى لإشارة التضمين (المعلومات)

لو تأملنا قانون كارسن لوجد أنه يأخذ بعين الاعتبار الحالة الأولى والثانية كيف؟

لو فُرض أن $f_{m(max)}$ كبيرة جداً مقارنة بـ ΔF فإن قانون كارسن يختصر إلى المعادلة رقم **(5-24)** وهي تمثل الحالة الأولى التي مرت معنا ومن جهة أخرى, لو افترضنا أن ΔF كبيرة جداً أمام $F_{m(max)}$, فإن قانون كارسن يختصر إلى المعادلة رقم (5-25) والتي تمثل الثانية التي سبق ذكرها. وبالتالي يمكن القول أن قانون كارسن شامل. إن قانون كارسن يحدد عرض النطاق الذي يشمل تقريباً 98% من الطاقة المحتواة في الموجة المضمنة. إن عرض النطاق الفعلي المطلوب يتعلق بإشارة التضمين (المعلومات) ونوعية الإرسال المرغوب فيه.

مثال 5-5

من أجل مضمن FM حيث الانحراف الأقصى في التردد ΔF =10kHz, تردد إشارة التضمين F_m=10kHz, سعة الموجة الحاملة E_c=10v, وترددها F_c= 500kHz.

أوجد :

أ. عرض النطاق الأدنى باستعمال جدول بيسال.

ب. عرض النطاق الأدنى باستعمال قانون كارسن

ج. ارسم الطيف الترددي للخرج باستعمال تقريبات بيسال

الحل

أ. $B = 2\ (n \times f_m)$

$m = 1 \Rightarrow n=3$

$B = 2\ (3 \times 10) = 60$ KHz.

ب. $B = 2\ (\Delta F + F_{m(max)})$

$B = 2\ (10 + 10) = 40$ kHz

جـ.

نلاحظ أن عرض نطاق الفعلي الناتج من قانون كارسن والمطلوب لتمرير جميع الأجنحة الترددية أقل من عرض النطاق الناتج من استعمال جدول بيسال. فبالتالي يمكن أن نخلص إلى الاستنتاج التالي عند تصميم نظام اتصالات باستعمال قانون كارسن سيكون هذا النظام أقل مردودية بنسبة ضئيلة مقارنة مع أي نظام يصمم بواسطة جدول بيسال.

٥-٨ القدرة المتوسطة للموجة المضمنة زاويا

Average Power of an Angle – Modulated Wave

أحد الفروق الأساسية بين التضمين الزاوي وتضمين السعة يكمن في توزيع الطاقة في الموجة المضمنة و هذا على خلاف AM. فإن الطاقة الكلية في الموجة المضمنة في التضمين الزاوي تساوي طاقة الموجة الحاملة قبل التضمين وهذا جوهر الاختلاف بينهما.

وبالتالي يمكن القول أن الطاقة التي تحملها الموجة الحاملة قبل التضمين سيعاد توزيعها بعد التضمين على كل من الموجة الحاملة بعد التضمين والأجنحة الترددية.

ورياضياً يمكن التعبير عن قدرة الموجة الحاملة قبل التضمين بالمعادلة التالية (انظر الوحدة الثانية)

$$P_C = \frac{E_C^2}{2R} \qquad (5\text{-}28)$$

أما القدرة الكلية فهي معطاة بالعلاقة التالية

$$P_t = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + ... + P_n \qquad (5\text{-}29)$$

$$P_t = \frac{E_0^2}{2R} + 2\left[\frac{V_1^2}{2R} + \frac{V_2^2}{2R} + \frac{V_3^2}{2R} + ... + \frac{V_n^2}{2R}\right] \qquad (5\text{-}30)$$

حيث:

P_L: القدرة الكلية للموجة المضمنة زاوياً

P_0: قدرة الموجة الحاملة بعد التضمين

P_1: قدرة المجموعة الأولى من الأجنحة الترددية

P_2: قدرة المجموعة الثانية من الأجنحة الترددية

P_3: قدرة المجموعة الثالثة من الأجنحة الترددية

P_n: قدرة المجموعة n من الأجنحة الترددية

$E_0 = J_0 E_c$: سعة الموجة الحاملة بعد التضمين

$V_1: J_1 E_c$: سعة الجناح الترددي الأول

$V_n = J_n E_c$: سعة الجناح الترددي n.

أما $J_0, J_1, \ldots\ldots\ldots J_n$ هي عبارة عن جذور دالة بيسال من النوع الأول والمعطاة في الجدول 5-1 حسب قيمة دليل التضمين. كذلك نلاحظ أن الرقم 2 الوارد في المعادلة **(5-30)** نتيجة وجود زوج من الأجنحة واحد على يمين f_c والآخر على يسار f_c.

مثال ٦-٥

١. أوجد قدرة الموجة الحاملة قبل التضمين لمضمن FM مع الشروط المعطاة في المثال 5-5 (افتراض أن مقاومة الحمل $R_L = 50$ Ohms).

٢. أوجد القدرة الكلية المحتواه في الموجة المضمنة للتضمين الزاوي.

الحل:

(أ)
$$P_C = \frac{10^2}{2(50)} = 1 \quad W$$

(ب)
$$P_t = 1.0051 \text{ W}$$

نلاحظ أن قيمة الطاقة الكلية قريبة من طاقة الموجة الحاملة قبل التضمين. أما الفروقات الطفيفة بينهما ترجع إلى القيم المقربة في جدول بيسال.

٥-٩ الدوائر الإلكترونية المستعملة في توليد موجات التضمين الزاوي عملياً

Practical Generation of Angle Modulated Waves

أ . دائرة معدل FM

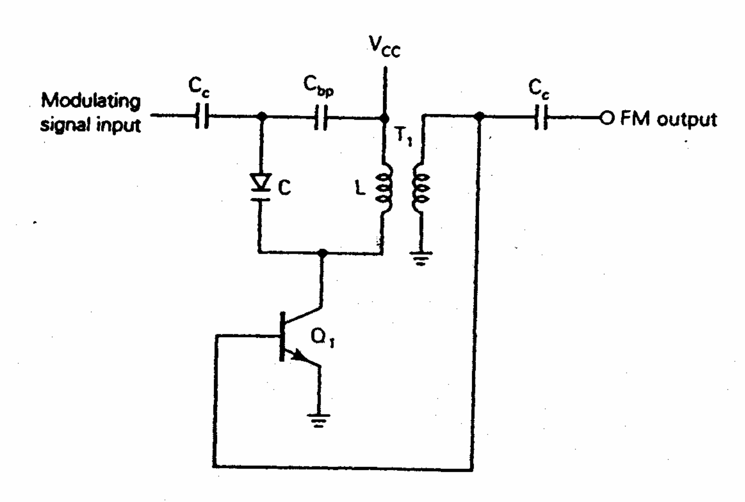
إن الشكل 5-3 يوضح الدائرة الإلكترونية التي يمكن استخدامها من أجل توليد موجة FM. وفي هذا الشكل صمام متغير المكثفة قد استعمل لتحويل كل تغيير يطرأ على سعة إشارة المعلومات إلى تغيير في التردد من المعروف من مقرر الإلكترونيات أن تردد الاهتزاز للمذبذب يعطى بالعلاقة التالية

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}} \tag{5-31}$$

عند تطبيق إشارة المعلومات، فإن تردد الاهتزاز يصبح كالتالي:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(c+\Delta c)}} \tag{5-32}$$

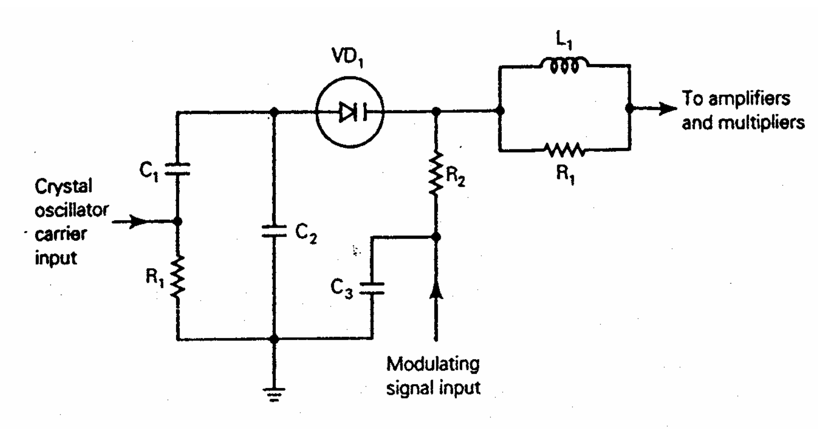
حيث f هو التردد الجديد للمذبذب وΔC هو التغيير الذي حصل في المكثفة نتيجة تطبيق إشارة المعلومات. اما L فهي قيمة الملف وتعطى بـ هنري(H)



الشكل 3-5 يوضح دائرة معدل لإنتاج موجة FM.

ب. دائرة معدل PM.

إن الشكل 4-5 يوضح الدائرة الإلكترونية التي يمكن استخدامها من أجل توليد موجة PM. فنتيجة تطبيق إشارة المعلومات على صمام متغير المكثفة، سيحدث تغيير في قيمة المكثف لهذا الصمام مما يؤدي إلى تغيير طور الموجة الحاملة.



الشكل 4-5 يوضح دائرة معدل لإنتاج PM

تمارين

التمرين الأول

إذا كان مضمن FM ينتج 5kHz لانحراف في التردد من أجل 10v لإشارة المعلومات.

أوجد :

أ. ثابت انحراف الحساسية

ب. ما هي قيمة الانحراف في التردد المنتج بواسطة 2V

التمرين الثاني

إذا كان مضمن PM ينتج 2 rad في انحراف الطور من أجل 5V لإشارة المعلومات.

أوجد :

أ. ثابت انحراف الحساسية

ب. ما هي قيمة الانحراف في الطور المنتج بواسطة 2v لإشارة المعلومات.

التمرين الثالث

إذا كان ثابت انحراف الحساسية لمضمن FM يساوي .... وإشارة المعلومات معطاة كما يلي

$$V_{m(t)} = 10 \sin 2\pi\, 2000t$$

أوجد

أ. الانحراف الأقصى في التردد.

ب. دليل التضمين

ج. ما هي قيمة الانحراف الأقصى في التردد المنتج عندما تتضاعف سعة إشارة المعلومات.

التمرين الرابع

إذا كان ثابت انحراف الحساسية لمعدل PM يساوي $K_p = 1.5$ إشارة المعلومات

$$V_{m(t)} = 2 \sin (2\pi\, 2000t)$$

أوجد :

أ. الانحراف الأقصى في الطور.

ب. ما هي قيمة الانحراف في الطور المنتج عندما تتضاعف سعة إشارة المعلومات.

التمرين الخامس:

إذا كان دليل التضمين m=2 لمعدل FM, وإشارة المعلومات $V_{m(t)} = V_m \sin 2\pi 2000t$, والموجة الحاملة

$$V_{c(t)} = 8 \sin (2\pi\, 800Kt)$$

أ - عدد أزواج الأجنحة الترددية.

ب - أوجد سعاتها.

ج - ارسم الطيف الترددي موضحاً عليه قيم السعات النسبية.

د - احسب عرض النطاق.

هـ - احسب عرض النطاق إذا ازدادت سعة إشارة المعلومات بمعامل 2.5.

المراجع

Wayane Tomasi `` Electronic communication systems fundamental through advanced `` .

Schaum's outlines `` Analog and digital communications`` McGraw Hill (1993).

Horld B. Killen `` Communication techniques`` Macmilan publishing company New York (1985).

Louis E. Frenzel `` Communication electronics principles and applications`` McGraw Hill 3 rd edition (2000).

Gary M. Miller`` Modern electronic communications`` Prentice Hall International Inc (1996).

Dornhofer G. and Nies A. ``STE 6.1.6 High frequency circuits using plug in system electrical engineering and electronics`` Lybold Didactic GMBH (1990).

Lathi B.P. `` Modern digital communication systems`` second edition, Rinehart and Winston Inc., Orlando 32887 (1989). The translated copy by. Dr. Ibrahim El khadi, Dr. Abdelaziz El rouisi amd Dr. Adel Ali `` King Saoud University``.

Saad Ali El Haj Bakri and Mohamad abderhman El harbi`` Intoduction to communication`` King Saoud university (1988).

المحتويات

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم
المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة
GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS

BAE SYSTEMS